

**ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMİK BERDASARKAN
PENGUKURAN SINYAL MIKROTREMOR DI KECAMATAN
PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN
KLATEN**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh:

ZAHROH UTAMI

NIM. 13306141051

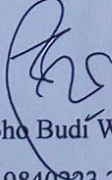
**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2017**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Sinyal Mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten” yang disusun oleh Zahroh Utami, NIM. 133006141051 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

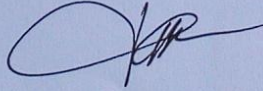


Pembimbing I,


Nugroho Budi Wibowo, M. Si.
NIP. 19840223 200801 1 011

Yogyakarta, 29 September 2017

Pembimbing II,


Denny Darmawan, M. Sc.
NIP. 19791202 200312 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

**Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Sinyal Mikrotremor
di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten**

Disusun oleh:

Zahroh Utami

NIM 13306141051

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta
pada 12 Oktober 2017

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan
Nugroho Budi Wibowo, M.Si
Ketua Penguji/Pembimbing I

Tanda Tangan

Tanggal

19 Oktober 2017

Denny Darmawan, M.Sc
Sekretaris /Pembimbing II

20 Oktober 2017

Dr. Restu Widiatmono, M.Si
Penguji

19 Oktober 2017

Yogyakarta, 20 Oktober 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Rekan



Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Zahroh Utami

NIM : 13306141051

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran

Sinyal Mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan

Gantiwarno Kabupaten Klaten.

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali sebagai kutipan dengan mengikuti pedoman tata tulisan karya ilmiah yang telah lazim. Adapun semua kutipan di dalam skripsi ini telah saya sertakan nama pembuat/penulisnya dan telah saya cantumkan ke dalam daftar pustaka. Apabila pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 29 September 2017

Yang Menyatakan

Zahroh Utami

NIM 13306141051

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Allah engkau berharap.”
(Q.S Al- Insyirah: 5-8)

“Berkata Musa: “Ya Tuhanku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuanku dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku.”
(QS. Taha:25—28)

“Ya Allah, sesungguhnya aku memohon pada-Mu ilmu yang bermanfaat, rezeki yang baik, dan amal yang diterima.”
(HR. Ibnu Majah)

PERSEMBAHAN

Dengan ijin-Nya kupersembahkan karya ini untuk:

- (Alm) Ayah atas limpahan kasih sayang semasa hidupnya.
- Ibu atas jasa-jasanya, kesabaran, doa, dan tidak pernah lelah dalam mendidik dan memberi cinta yang tulus
- Adik-adik tersayang Sabri, Dian, Nada, dan Tata yang senantiasa memberikan dukungan, senyum, semangat, dan doanya.
- Keluarga dan kerabat tercinta yang tiada hentinya memberikan motivasi dan bimbingan.
- Almamater Universitas Negeri Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Alloh SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan karunia-Nya, sehingga dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten”**, guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Sains Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, serta arahan dari berbagai pihak. Seiring dengan selesainya skripsi ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.pd selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si sebagai dosen pembimbing I yang memberikan bimbingan, doa, arahan, dan dorongan motivasi dalam penelitian, penyusunan, dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Denny Darmawan, M.Sc sebagai dosen pembimbing II yang memberikan bimbingan, doa, arahan, dan dorongan motivasi dalam penelitian, penyusunan, dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Suparno, Ph.D sebagai dosen Penasehat Akademik (PA) yang banyak memberikan arahan terkait perkuliahan di prodi fisika UNY.

5. Pemerintah Kabupaten Klaten, Kementrian Pekerjaan Umum, dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang memberikan izin penelitian.
6. Seluruh dosen dan staf prodi pendidikan fisika FMIPA UNY yang telah banyak membantu selama kuliah dan penelitian berlangsung.
7. Ayah dan Ibu atas jasa-jasanya, doa, kesabaran, dan tidak pernah lelah dalam mendidik dan memberi cinta yang tulus kepada penulis.
8. Teman-teman seperjuangan Geofisika UNY 2011, 2012, dan 2013 yang telah membantu dalam penelitian ini dan penyusunan skripsi..
9. Teman-teman seperjuangan Fisika E 2013 yang memberikan dukungan, dan doa selama menempuh studi di Prodi Fisika.
10. Keluarga Penulis selama di Yogyakarta, Afifah Hana Tsurayya dan Nur Evi Kartika Damayanti, serta semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan semuanya.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan tugas akhir skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang geofisika. Terimakasih

Yogyakarta, 22 September 2017

Penulis

**ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMİK BERDASARKAN
PENGUKURAN SINYAL MIKROTREMOR DI KECAMATAN
PRAMBANAN DAN KECAMATAN GANTIWARNO KABUPATEN**

KLATEN

Oleh:
ZAHROH UTAMI
13306141051

ABSTRAK

Frekuensi dominan (f_g) dan faktor amplifikasi (A_g) merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik (K_g) suatu wilayah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan f_g dan A_g di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Selain itu juga untuk menentukan nilai K_g dan mikrozonasinya di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Pengukuran data mikrotremor dilakukan pada 30 titik penelitian. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) untuk mendapatkan nilai f_g dan A_g di setiap titik pengambilan data. Hasil analisis mikrotremor digunakan untuk menghitung nilai K_g . Mikrozonasi K_g dilakukan dengan menggunakan *software* Surfer 10.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai f_g di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berada pada kisaran 0,7 Hz sampai 9,5 Hz, nilai A_g berada pada kisaran 1,795 sampai 9,010, dan nilai K_g berada pada kisaran $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $5,52 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Hasil mikrozonasi K_g dengan nilai sekitar $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $8,58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ menyebar di Desa Joho sebelah timur, Desa Pereng, Desa Ceporan, Desa Jogoprayan, Desa Gentan, dan Desa Sengon sebelah selatan. Untuk nilai K_g sedang ditunjukkan dengan nilai sekitar $10,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ dan nilai K_g relatif tinggi dengan nilai lebih dari $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ menyebar di Desa Bugisan, Desa Sawit, Desa Tlogo, Desa Taji, Desa Mutihan, Desa Sanggrahan, Desa Kebondalem Kidul, Desa Cucukan sebelah utara, Desa Jabung sebelah selatan, Desa Mlese, Desa Ngandong, dan Desa Gesikan. Mikrozonasi K_g sesuai dengan sebaran kerusakan bangunan, di mana persentase kerusakan tertinggi berada pada daerah dengan K_g tinggi yang didominasi oleh Formasi Merapi Muda.

Kata Kunci : Indeks Kerentanan Seismik, *Horizontal to Vertical Spectral Ratio*, Mikrotremor, Mikrozonasi.

**ANALYSIS OF SEISMIC VULNERABILITY INDEX BASED ON
MICROTREMOR SIGNAL MEASUREMENT IN PRAMBANAN AND
GANTIWARNO SUBDISTRICT KLATEN REGENCY**

By:
ZAHROH UTAMI
13306141051

ABSTRACT

Predominant frequency (f_g) and amplification factor (A_g) are the parameters used to calculate seismic vulnerability index (K_g) of an area. This research aimed to determine f_g and A_g in Prambanan and Gantiwarno Subdistrict. It also aimed to determine K_g and its microzonation in Prambanan and Gantiwarno Subdistrict.

Microtemor measurement data were collected from 30 locations at Prambanan and Gantiwarno Subdistrict. The microtemor data was analyzed using *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) method to generate f_g and A_g at every observed spot. The analysis results were used to calculate K_g and its microzonation using *Surfer 10* software.

This result showed that f_g value for Prambanan Subdistrict and Gantiwarno Subdistrict are ranging from 0.7 Hz to 9.5 Hz, while A_g value are ranging from 1.795 to 9.010, and K_g are ranging from $2.27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ to $5.52 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. The low K_g with the value of about $2.27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ to $8.58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ spread in eastern part of Joho Village, Pereng Village, Ceporan Village, Jogoprayan Village, Gentan Village, and southern part of Sengon Village. Medium K_g value between $10.27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ to $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ and high K_g value which is more than $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ spread in Bugisan Village, Sawit Village, Tlogo Village, Taji Village, Mutihan Village, Sanggrahan Village, Kebondalem Kidul Village, northern part of Cucukan Village, southern part of Jabung village, Mlese village, Ngandong Village, and Gesikan Village. K_g microzonation was in accordance with the distribution of building damage, where the percentage of highest damage was in the area with high K_g dominated by Merapi Muda Formation.

Keywords: *Seismic Vulnerability Index, Horizontal to Vertical Spectral Ratio, Microtemor, Microzonation.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Batasan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II. KAJIAN TEORI	9
A. Dasar Teori	9
1. Gempabumi.....	9
2. Gelombang Seismik.....	11
3. Mikrotremor.....	14
4. <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr).....	16
5. Transformasi Fourier	20
6. <i>Smoothing Data</i>	26
7. Indeks Kerentanan Seismik	27

10. Mikrozonasi	29
11. Daerah Penelitian.....	30
12. Geologi Wilayah Penelitian.....	32
B. Kerangka Berpikir	32
BAB III. METODE PENELITIAN	34
A. Waktu dan Tempat Penelitian	34
B. Instrumen Penelitian	34
1. Perangkat Keras	34
2. Perangkat Lunak	35
C. Teknik Pengambilan Data.....	37
1. Tahap Desain Survei.....	37
2. Tahap Pengambilan Data.....	40
D. Teknik Analisis Data	40
E. Diagram Alir Penelitian.....	46
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	47
A. Distribusi Nilai Frekuensi Predominan	47
B. Distribusi Nilai Faktor Amplifikasi.....	51
C. Distribusi Nilai Kecepatan Gelombang Geser pada Batuan Dasar ..	54
D. Distribusi Nilai Indeks Kerentanan Seismik.....	56
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	62
A. Kesimpulan	62
B. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN –LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Frekuensi Predominan (Kanai & Tanaka, 1983) .	19
Tabel 2. Data Kerusakan Bangunan dan Korban Jiwa (BAPPEDA, 2006).....	31
Tabel 3. Syarat Teknis Penelitian Mikrotremor (SESAME, 2004)	39
Tabel 4. Nilai <i>Threshold</i> (SESAME, 2004).)	43

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Tatanan Tektonik Indonesia (Bock <i>et. al.</i> , 2003)	1
Gambar 2 Sebaran Kerusakan Bangunan akibat Gempabumi Bantul 2006 (UNOSAT, 2006).....	3
Gambar 3 Skema Pergerakan Lempeng (Cristanto, 2011)	10
Gambar 4 Ilustrasi Gelombang Primer dan Gelombang Sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008)	13
Gambar 5 Ilustrasi Gelombang Rayleigh dan Gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008)	14
Gambar 6 Contoh Data Mikrotremor di Kecamatan Prambanan	15
Gambar 7 Model Cekungan Asumsi Nakamura (Slob, 2007)	17
Gambar 8 Peta Kabupaten Klaten (BAPPEDA Klaten, 2004)	31
Gambar 9 Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor	36
Gambar 10 Peta Lokasi Penelitian pada Google Earth.....	37
Gambar 11 Peta Titik Pengukuran.....	38
Gambar 12 Proses Pemilihan Sinyal tanpa <i>Noise</i>	41
Gambar 13 Kurva H/V.....	42
Gambar 14 Analisis nilai v_s pada <i>Dinver</i>	44
Gambar 15 Peta Zona Kerusakan Bangunan akibat Gempabumi Bantul 2006 di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	45
Gambar 16 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 17 Mikrozonasi Frekuensi Predominan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	48
Gambar 18 Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_g) pada Satuan Formasi Geologi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno	50
Gambar 19 Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	52
Gambar 20 Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A) pada Satuan Formasi Geologi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno	54

Gambar 21	Mikrozonasi Kecepatan Gelombang Geser pada Satuan Batuan Dasar atau Bedrock (v_b) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	55
Gambar 22	Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	56
Gambar 23	Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik (K_g) pada Satuan Formasi Geologi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	58
Gambar 24	Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik (K_g) dan Zona Kerusakan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno	59
Gambar 25	Pengaruh Frekuensi Predominan (f_g) dan Faktor Amplifikasi (A) terhadap nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

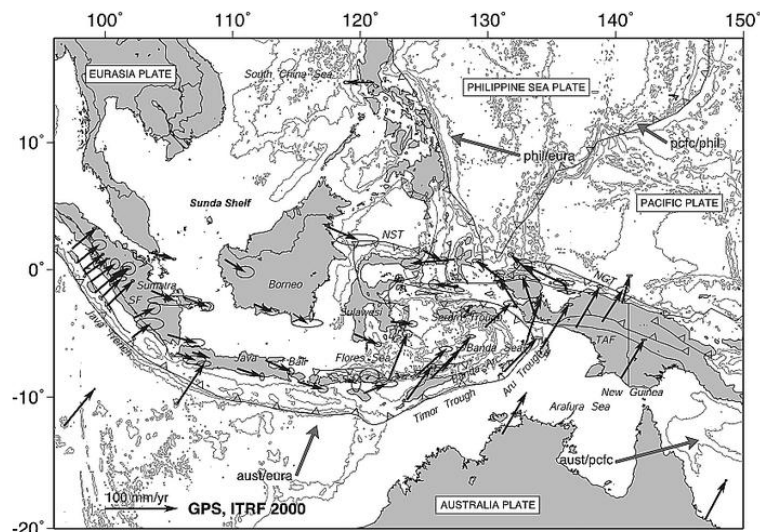
	Halaman
Lampiran 1. Data Hasil Penelitian	68
Lampiran 2. Analisa SESAME dan Kurva H/V	69
Lampiran 3. Pengolahan Data	81
Lampiran 4. Program MATLAB	89
Lampiran 5. Mikrozonasi Hasil Penelitian	93
Lampiran 6. <i>Digital Portable Seismograph</i> TDL-303 S	100
Lampiran 7. Peta Geologi Kabupaten Klaten	101
Lampiran 8. Data Kerusakan bangunan dan Korban Jiwa Pasca Gempabumi 27 Mei 2006 di Kabupaten Klaten	102
Lampiran 9. Dokumentasi Pengambilan Data	103
Lampiran 10. Data Sheet SESAME	104

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Australia, lempeng Filipina, dan lempeng Pasifik. Tekanan dari pergerakan lempeng besar bumi ini menyebabkan terjadinya tumbukan antar lempeng yang mengakibatkan terbentuknya zona subduksi, sehingga terbentuk palung laut, jalur busur luar kepulauan, jalur magmatik, patahan aktif, dan gempa bumi (Daryono, 2010). Karena itu, Kepulauan Indonesia berada pada daerah yang mempunyai aktivitas gempa bumi cukup tinggi (Pasau dan Tanauma, 2011). Aktivitas gempa bumi yang tinggi ditunjukkan oleh fakta bahwa Indonesia mengalami lebih dari 14.000 gempa bumi dengan magnitudo $M > 5,0$ selama tahun 1897-2009 (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010). Tatanan tektonik Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.



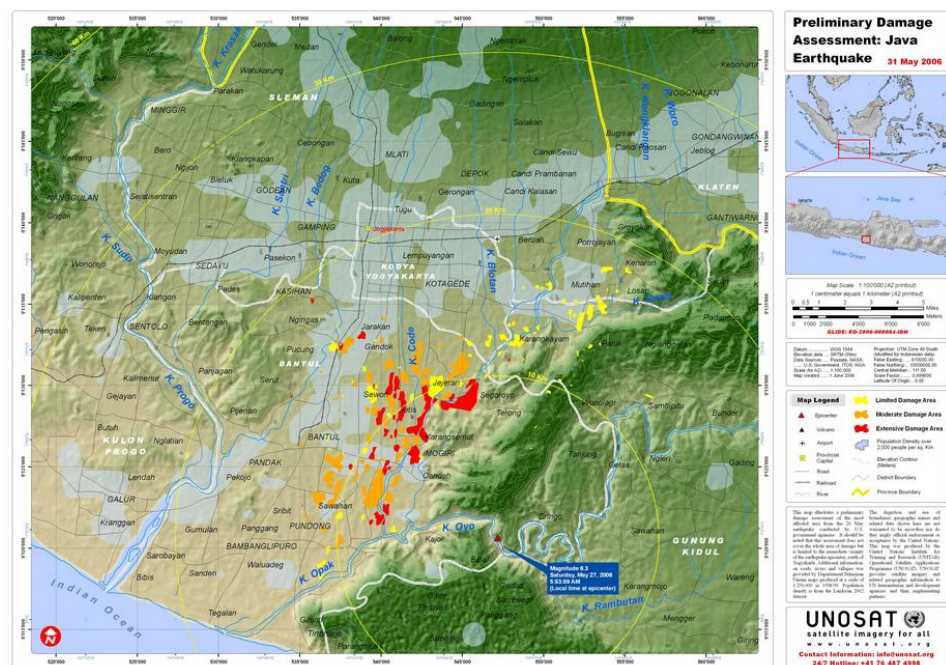
Gambar 1. Tatanan Tektonik Indonesia (Bock *et. al.*, 2003)

Gempabumi adalah berguncangnya bumi yang diakibatkan oleh adanya tumbukan antar lempeng bumi. Dampak yang ditimbulkan oleh adanya gempabumi sangat tergantung dari kekuatan gempa (Supartoyo *et. al.*, 2016). Gempa tektonik Bantul 27 Mei 2006 dengan skala 6,3 Mw (*Magnitude Moment*) dan kedalaman 12,5 km yang terjadi kurang lebih pukul 05:55 WIB selama 57 detik dengan pusat gempa $7,961^{\circ}$ LS – $110,446^{\circ}$ BT mengakibatkan banyak kerusakan dan korban (USGS, 2014). Gempabumi ini mengakibatkan kerusakan bangunan lebih dari 100.000 buah dan menewaskan lebih dari 5000 jiwa (BAPPENAS, 2006).

Gempabumi tektonik 27 Mei 2006 tidak hanya mengguncang daerah Bantul Yogyakarta, namun juga beberapa daerah di Jawa Tengah yang mengalami guncangan gempa cukup besar terutama Kabupaten Klaten. Kabupaten Klaten terletak antara $07^{\circ}32'19''$ LS - $07^{\circ}48'33''$ LS dan $110^{\circ}26'14''$ LU - $110^{\circ}47'51''$ LU yang secara topografi dibatasi oleh Gunung Merapi dan Pegunungan Seribu dengan ketinggian kurang lebih 75 hingga 160 meter di atas permukaan laut. Sebagian besar wilayah Kabupaten Klaten merupakan dataran rendah dan tanah bergelombang (Klaten, 2016). Beberapa kecamatan di Kabupaten Klaten mengalami banyak kerusakan bangunan dan korban jiwa akibat gempabumi Bantul 27 Mei 2006, di antaranya Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Pada gempabumi 27 Mei 2006, Kecamatan Prambanan mengalami bangunan roboh dan rusak berat sebanyak 9086 bangunan, korban meninggal dunia sebanyak 196 orang, dan korban luka berat 1655 orang. Sementara itu pada

Kecamatan Gantiwarno sebanyak 9907 bangunan roboh dan rusak berat, 331 jiwa meninggal dunia, dan 2799 jiwa mengalami luka-luka (BAPPEDA, 2006). Berdasarkan data korban jiwa dan bangunan roboh atau rusak berat di Kabupaten Klaten yang diakibatkan oleh gempa bumi 27 Mei 2006 pada Lampiran 8, Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno mengalami dampak yang tergolong tinggi. Gambar 2 memperlihatkan sebaran kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa bumi 27 Mei 2006 berdasarkan *Preliminary Damage Assesment Java Earthquake*.



Gambar 2. Sebaran Kerusakan Bangunan akibat Gempabumi Bantul 27 Mei 2006 (UNOSAT, 2006)

Gempabumi adalah bencana yang tidak dapat diperkirakan kapan dan dimana kejadiannya, namun dapat diminimalisir dengan mitigasi berdasarkan data indeks kerentanan seismik suatu wilayah. Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menunjukkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah suatu

wilayah terhadap deformasi tanah saat terjadi gempa bumi (Motamed *et. al.*, 2007). Wilayah yang mempunyai indeks kerentanan seismik rendah berpotensi kecil mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi. Sementara itu, daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi berpotensi besar mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi (Daryono, 2013).

Indeks kerentanan seismik dapat diperoleh dari analisis hasil pengukuran sinyal mikrotremor menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Nakamura (1989) memaparkan bahwa metode HVSr membandingkan antara komponen sinyal vertikal dengan komponen sinyal horizontal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor. Parameter yang dihasilkan pada metode HVSr berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasi. Data frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dimanfaatkan untuk menentukan besarnya nilai indeks kerentanan seismik.

Dalam penelitian Nakamura (2000), daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik sebesar $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ hingga $100 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ rentan mengalami kerusakan tinggi akibat gempa bumi, sedangkan untuk daerah yang mengalami kerusakan rendah memiliki indeks kerentanan seismik kurang dari $5 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Pada penelitian Daryono (2013) dengan menganalisis indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor pada setiap satuan bentuk lahan di Zona Graben Bantul, daerah dengan indeks kerentanan seismik $21,2 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ memiliki rasio kerusakan rumah sebesar 77%.

Penelitian-penelitian lainnya yang berkaitan dengan indeks kerentanan seismik antara lain seperti yang dilakukan oleh Laberta *et. al.* (2013) dengan melakukan mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, Putri (2016) dengan melakukan mikrozonasi indeks kerentanan seismik di kawasan jalur Sesar Opak, Wahyuningsih (2015) dengan mikrozonasi indeks kerentanan seismik di daerah Candi Ratu Boko, dan Putra (2013) yang menentukan tingkat kerentanan gempabumi di daerah Candi Prambanan dan sekitarnya. Dari penelitian yang sudah dilakukan, ada kemiripan pola antara indeks kerentanan seismik berdasarkan pengukuran mikrotremor dengan kerusakan bangunan.

Informasi mengenai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno masih terbatas. Berdasarkan fakta tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Data indeks kerentanan seismik suatu daerah dapat dibuat mikrozonasi supaya mudah diinterpretasikan. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur kota, sehingga pembangunan dapat diarahkan pada wilayah yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang lebih rendah.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dipaparkan, maka dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut.

1. Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno mengalami banyak kerusakan bangunan akibat gempa bumi yang bersumber di Kabupaten Bantul Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 pukul 05:55 WIB dengan skala 6,3 Mw dan pusat gempa $7,961^{\circ}$ LS – $110,446^{\circ}$ BT .
2. Informasi mengenai indeks kerentanan seismik dan mikrozonasinya di Kecamatan Prambanan masih terbatas.
3. Belum adanya informasi mengenai indeks kerentanan seismik dan mikrozonasinya di Kecamatan Gantiwarno.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno?
2. Berapa nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno?
3. Bagaimana mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno?

D. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam studi ini berupa data mikrotremor pada daerah yang dibatasi dengan koordinat geografis $07^{\circ}47'45,519''$ LS - $07^{\circ}42'43,392''$ LS dan $110^{\circ}29'21,450''$ BT - $110^{\circ}37'3,214''$ BT.

2. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* (SESAME, 2004).
3. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik pada Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dilakukan berdasarkan pengukuran sinyal mikrotremor yang diambil secara langsung sebanyak 30 titik.

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Menentukan frekuensi dominan (f_g) dan faktor amplifikasi (A_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
2. Menentukan indeks kerentanan seismik (K_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
3. Menghasilkan mikrozonasi indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang dilakukan diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan informasi tentang indeks kerentanan seismik di wilayah Kabupaten Klaten khususnya Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
2. Memberikan gambaran secara visual berupa mikrozonasi indeks kerentanan seismik tentang daerah yang rawan terhadap gempa bumi di Kecamatan

Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan pembangunan.

3. Memberikan wawasan baru dalam bidang kegempaan bagi masyarakat khususnya di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.
4. Memberikan informasi mitigasi bencana secara kuantitatif berdasarkan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. DasarTeori

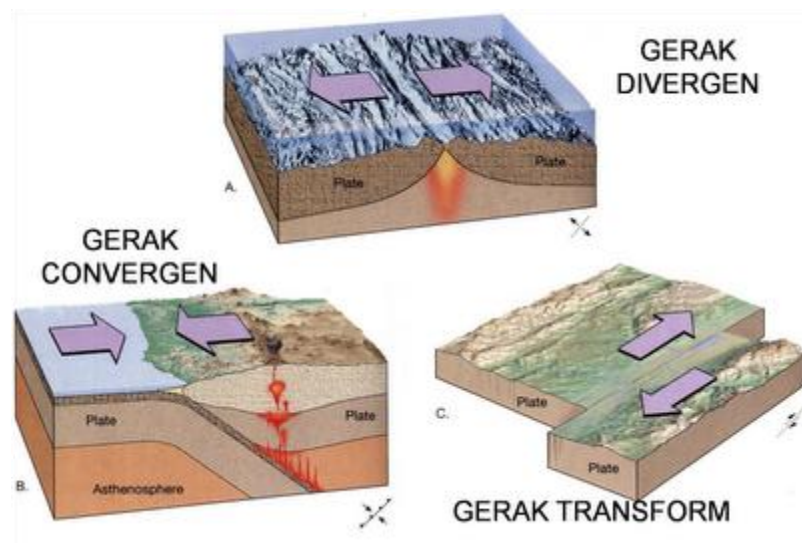
1. Gempabumi

Gempabumi adalah berguncangnya bumi yang diakibatkan oleh adanya patahan aktif, aktivitas gunung api, runtuh batuan, dan tumbukan akibat pergerakan lempeng bumi (Supartoyo *et. al.*, 2016). Pergerakan lempeng-lempeng bumi ini menghasilkan akumulasi energi yang menjadi penyebab utama terjadinya gempabumi. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi sebagai getaran atau guncangan tanah (BMKG, 2015).

Permukaan bumi terdiri atas beberapa lempeng tektonik besar. Lempeng tektonik merupakan bagian dari litosfer padat atau segmen keras kerak bumi yang mengapung di atas astenosfer yang cair dan panas. Lempeng tektonik ini bebas bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Ada tiga kemungkinan pergerakan satu lempeng tektonik terhadap lempeng lainnya yaitu saling menjauhi, saling mendekati, dan saling geser (BMKG, 2015). Skema jenis-jenis pergerakan lempeng ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada kasus pergerakan lempeng yang saling mendekat (*convergent*), dua lempeng akan saling mendorong dan energi yang tersimpan semakin besar sampai batuan tidak dapat menahan energi tersebut, sehingga batuan tersebut akan patah (Purwanto, 2015). Zona tumbukan lempeng ini disebut juga zona subduksi dan

diindikasikan dengan adanya palung laut. Pada kasus pergerakan lempeng yang saling menjauh (*divergent*) akan terbentuk material baru dari dalam bumi yang biasa disebut *mid oceanic ridge* atau punggung tengah samudera. Selanjutnya pada kasus pergerakan lempeng yang saling geser (*transform*), dua lempeng bumi saling bergerak mendatar dan saling menggeser secara horizontal (Kusky, 2008).



Gambar 3. Skema pergerakan lempeng (Cristanto, 2011)

Soetoto (2013) memaparkan bahwa besar kecilnya skala gempabumi yang terjadi pada suatu wilayah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu yang pertama adalah hiposenter yang merupakan pusat gempabumi, kemudian skala atau magnitudo gempa yang merupakan ukuran energi yang dipancarkan oleh sumber gempabumi. Magnitudo gempa dapat diukur menggunakan seismograf dan dinyatakan dalam satuan Skala Richter. Faktor selanjutnya yaitu durasi atau lama terjadinya gempa dan kedalaman sumber gempa. Semakin dalam pusat gempa maka getaran gempa yang dirasakan semakin rendah.

2. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi yang disebabkan oleh deformasi struktur bumi, tekanan, ataupun tarikan bumi. Gelombang seismik ini dapat dideteksi menggunakan *seismograph* (Siswowidjojo, 1996). Gelombang seismik menyebar ke segala arah dan bergerak sangat cepat. Gelombang seismik terkuat berada di wilayah yang dekat dengan episenter dan melemah saat gelombang menyebar. Kerusakan yang ditimbulkan gelombang ini tergantung pada jenis batuan penyusun permukaan yang bergetar (Philip, 2007).

Menurut Kayal (2008), gelombang gempabumi ini terdiri dari dua tipe gelombang, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan.

1. Gelombang Badan

Gelombang badan menjalar melalui bagian dalam permukaan bumi dan menjalar ke segala arah di dalam bumi atau biasa disebut *free wave*. Philip (2007) memaparkan bahwa gelombang badan terbagi menjadi dua, yaitu:

a. Gelombang Primer

Gelombang Primer atau gelombang P terjadi karena adanya tekanan dan bergerak 21.600 km/jam lebih cepat dari gelombang S sehingga akan terdeteksi pertama oleh seismograf. Gelombang P menarik dan mendorong batuan, karena itu merupakan gelombang longitudinal (Philip, 2007). Menurut Kayal (2008), kecepatan penjalaran gelombang P ditulis dengan persamaan (1):

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

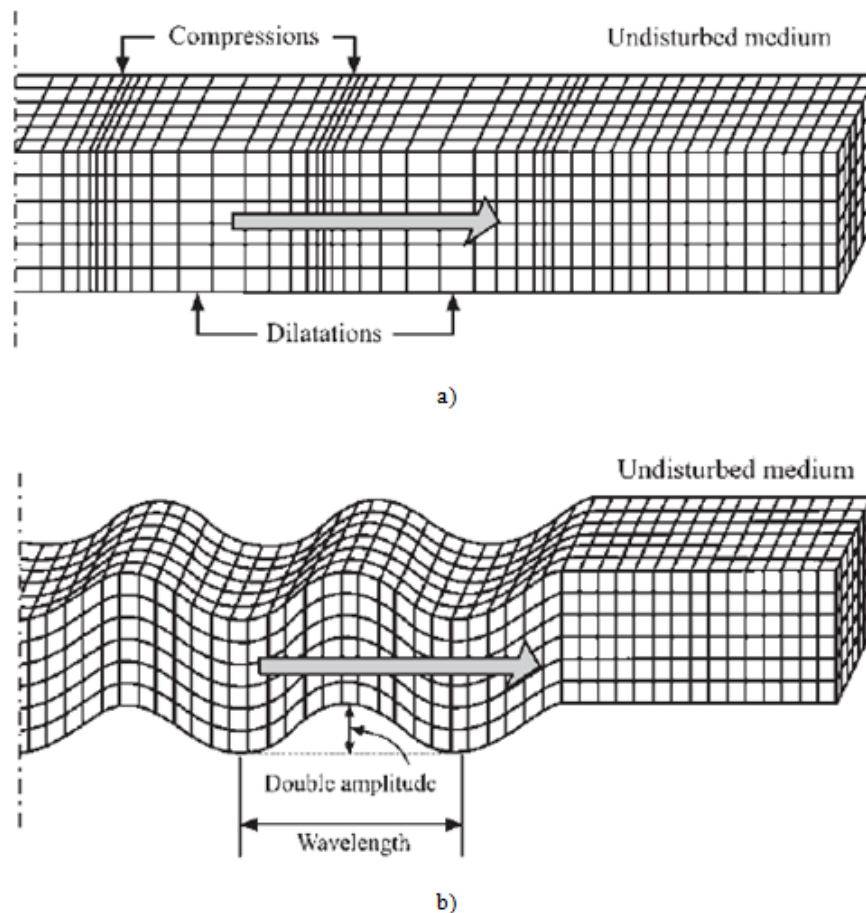
dengan V_p adalah kecepatan gelombang P (m/s), μ merupakan modulus geser (Pa), ρ merupakan densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang (Kg/m^3), dan k adalah modulus bulk (Pa).

b. Gelombang Sekunder

Gelombang Sekunder atau gelombang S menggerakkan batuan ke atas, ke bawah, ke kiri, dan ke kanan sehingga berdasarkan gerakannya termasuk gelombang transversal (Philip, 2007). Gelombang ini menjalar lebih lambat dibandingkan dengan gelombang primer, tetapi memancarkan energi lebih banyak. Kecepatan gelombang sekunder rata-rata $2/3$ kali kecepatan gelombang primer (Roosa, 2006). Kecepatan gelombang S dapat dituliskan dengan persamaan (2).

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

dengan V_s merupakan kecepatan gelombang S (m/s), μ merupakan modulus geser (Pa) dan ρ merupakan densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang (Kg/m^3) (Kayal, 2008). Ilustrasi gelombang P dan gelombang S dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. a) ilustrasi gelombang primer; b) ilustrasi gelombang sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008).

2. Gelombang Permukaan

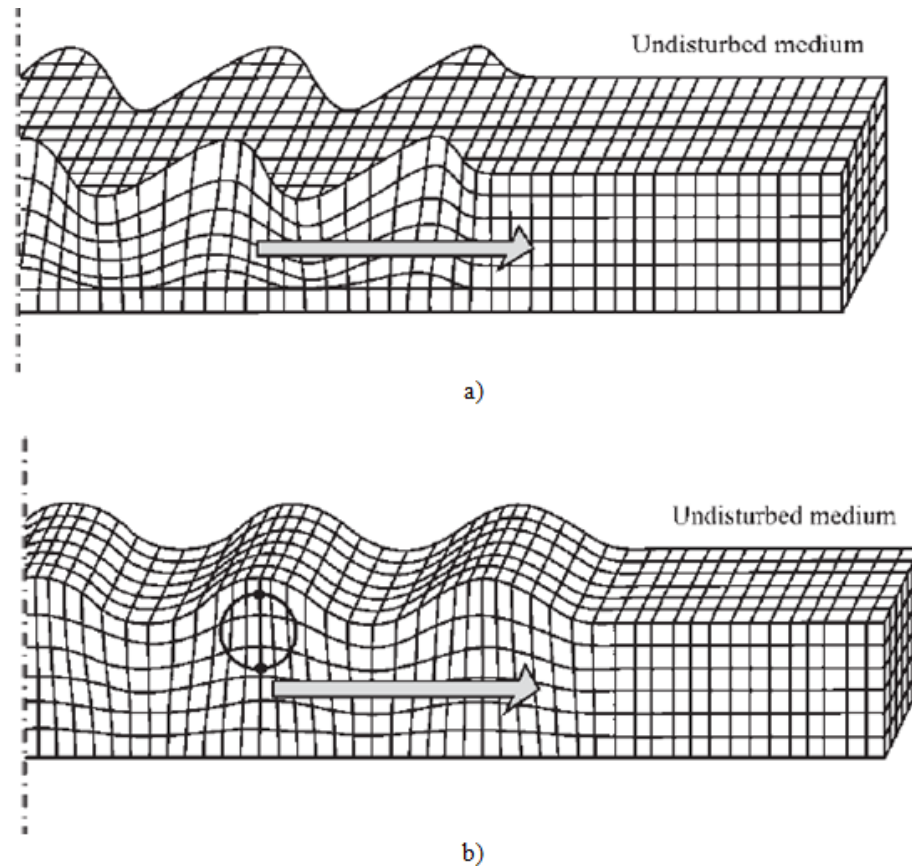
Gelombang permukaan menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan gelombang permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati permukaan bumi. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu:

a. Gelombang Rayleigh

Gelombang Rayleigh bergerak ke atas dan ke bawah (Philip, 2007). Gelombang Rayleigh memiliki kecepatan dari 2,0 km/s hingga 4,2 km/s di dalam bumi (Hidayati, 2010).

b. Gelombang Love

Gelombang Love menekan batuan ke kiri dan ke kanan (Philip, 2007). Gelombang ini termasuk gelombang transversal dan memiliki kecepatan di permukaan bumi sebesar dari 2,0 km/s hingga 4,4 km/s (Hidayati, 2010). Ilustrasi gelombang Rayleigh dan gelombang Love ditunjukkan pada Gambar 5.

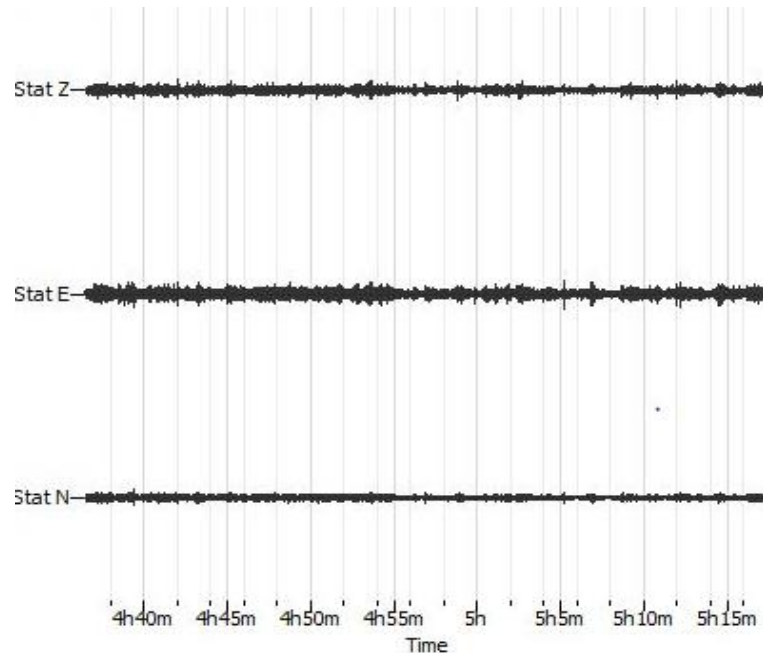


Gambar 5. a) Ilustrasi gelombang Love; b) Ilustrasi gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008).

3. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang kecil dan disebabkan oleh aktivitas alam maupun buatan. Menurut Arai dan Tokimatsu (2004), aktivitas alam dihasilkan dari interaksi seperti angin, arus laut, dan gelombang laut,

sedangkan aktivitas buatan dihasilkan dari aktivitas manusia seperti lalu lintas, industri, dan aktivitas manusia lainnya di permukaan bumi. Contoh Sinyal mikrotremor dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Contoh data mikrotremor di Kecamatan Prambanan

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang memiliki amplitudo antara 0,1 μm sampai 1 μm dengan rentang periodenya 0,05 sampai 2 detik (Ibrahim dan Subardjo, 2005). Menurut Mirzaoglu dan Dykmen (2003), mikrotremor berdasarkan rentang periodenya terbagi menjadi mikrotremor periode pendek dan mikrotremor periode panjang. Mikrotremor periode pendek berada pada periode kurang dari 1 detik. Periode ini hanya terkait pada struktur bawah permukaan yang dangkal. Sementara itu, mikrotremor periode panjang berada pada periode lebih dari 1 detik dan terkait dengan struktur yang lebih dalam menuju ke dasar batuan keras.

4. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Nakamura (1989) memaparkan bahwa metode HVSr adalah penentuan rasio sinyal vertikal dengan sinyal horizontal yang diperoleh dari pengukuran sinyal mikrotremor pada suatu lokasi untuk mengetahui karakteristik dinamis lapisan permukaan. Metode ini dapat menunjukkan adanya korelasi yang tepat dengan frekuensi alami dasar medium pada lapisan yang lunak (*soft soil*). Menurut Fah *et. al.*, (2001), HVSr dinilai sangat ekonomis dan efektif untuk mengkaji karakteristik dinamis lapisan tanah permukaan penyebab terjadinya *local site effect* saat gempabumi. *Site effect* (T_{SITE}) pada lapisan sedimen permukaan ditentukan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal T_H dengan faktor amplifikasi dari gerakan vertikal T_V (Daryono *et. al.*, 2009).

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (3)$$

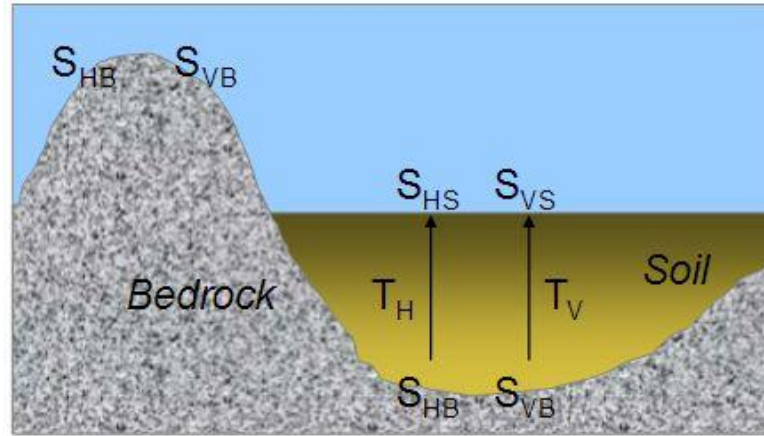
Faktor amplifikasi T_H dan faktor amplifikasi T_V dirumuskan oleh Nakamura (2000) dengan

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (4)$$

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (5)$$

S_{HS} adalah spektrum dari komponen horizontal sinyal mikrotremor di permukaan tanah, S_{HB} adalah spektrum dari komponen horizontal sinyal mikrotremor pada dasar lapisan tanah, S_{VS} adalah spektrum gerak vertikal sinyal

mikrotremor di permukaan tanah, dan S_{VB} merupakan spektrum dari komponen gerak vertikal sinyal mikrotremor pada dasar lapisan tanah (Nakamura, 2000). Asumsi yang digunakan dalam metode Nakamura ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model cekungan yang berisi material sedimen halus (Slob, 2007)

Sinyal mikrotremor tersusun dari beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang Rayleigh yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Komponen vertikal mikrotremor tidak teramplifikasikan oleh lapisan sedimen di dataran aluvial. Pengaruh gelombang Rayleigh pada rekaman sinyal mikrotremor mempunyai nilai yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 Hz sampai 20 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu (Bour *et. al.*, 1998).

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (6)$$

apabila dibulatkan menjadi

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \text{ atau } \frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (7)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect*. Dengan substitusi persamaan (4), (5), dan (7) ke persamaan (3), maka diperoleh persamaan (8). Persamaan (8) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Persamaan (8) dapat juga ditulis

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} = \frac{\sqrt{[(S_{Utara-Selatan})^2 + (S_{Barat-Timur})^2]}}{S_{Vertikal}} \quad (8)$$

Metode HVSr menghasilkan spektrum mikrotremor dengan puncak spektrum pada frekuensi predomannya. Nilai frekuensi dominan (f_g) dan faktor amplifikasi (A_g) adalah parameter yang memberikan informasi mengenai karakteristik dinamis dan struktur lapisan tanah (Nakamura, 2000).

Frekuensi merupakan *invers* dari waktu, sehingga waktu yang memiliki satuan detik akan menjadi *hertz*. Menurut Putri (2016), nilai frekuensi dominan yang sangat rendah tidak hanya mengakibatkan resonansi tetapi juga meningkatkan kerentanan terhadap guncangan gempabumi dengan periode yang panjang. Klasifikasi Kanai telah dipakai sebagai standar perencanaan bangunan dan gempabumi. Klasifikasi tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi dominan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan menurut Kanai (Arifin, *et. al.*, 2013)

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Predominan (Hz)	Keterangan
Jenis I	6,67-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>)
Jenis II	4-6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy gravel</i>), pasir berlempung keras (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>), dan sebagainya.
Jenis III	2,5-4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll, dengan kedalaman 30m.

Amplifikasi terjadi saat nilai frekuensi gelombang gempa sama dengan frekuensi lapisan sedimen permukaan. Menurut Nakamura (2000), batuan sedimen yang lunak akan memperkuat gerakan tanah saat terjadi gempa, sehingga menimbulkan guncangan yang besar dan kerusakan yang lebih parah daripada lapisan keras.

SESAME (2004) memaparkan bahwa kurva HVSR yang diperoleh harus memenuhi 3 kriteria *reliable* yang sudah ditetapkan, yaitu yang pertama nilai $f_g > 10/I_w$, artinya nilai frekuensi dominan (f_g) dari kurva H/V yang diperoleh harus lebih besar dari 10 dibagi panjang *window*. Kemudian kriteria yang kedua yaitu nilai $n_c(f_g) > 200$, artinya nilai n_c yang diperoleh dari perkalian jumlah *window* (n_w), frekuensi dominan (f_g), dan panjang *window*

(I_w) yang digunakan harus lebih besar dari 200. Kriteria yang terakhir yaitu nilai standar deviasi $\sigma_A(f) < 2$ untuk nilai f_g lebih besar dari 0,5 Hz dan $\sigma_A(f) < 3$ untuk nilai f_g kurang dari 0,5 Hz.

5. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan persamaan matematis yang mentransformasikan fungsi dalam kawasan waktu menjadi fungsi lain dalam kawasan frekuensi. Transformasi Fourier $X(f)$ dari waktu kontinyu $x(t)$ adalah sebagai berikut (Lyons, 2009):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (9)$$

dengan $x(t)$ merupakan fungsi dalam kawasan waktu, $X(f)$ merupakan fungsi frekuensi, dan fungsi kernel $e^{-j2\pi ft}$ dengan $j = \sqrt{-1}$. Satuan frekuensi f dalam Hz dan waktu t dalam sekon. Persamaan (9) akan mempunyai nilai jika

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)| dt < \infty \quad (10)$$

Persamaan domain frekuensi diubah menjadi sinyal domain waktu kembali, dengan melakukan invers pada transformasi Fourier, seperti ditunjukkan pada persamaan (11):

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} X(f)e^{+j2\pi ft} df \quad (11)$$

Discrete Fourier Transform (DFT) merupakan algoritma untuk mengetahui komponen frekuensi harmonik dan amplitudo dari sebuah rangkaian sinyal periodik domain waktu yang merupakan deret Fourier (Tan, 2008). Transformasi

Fourier dalam domain waktu dan frekuensi yang kontinyu seperti pada persamaan (11) tidak dapat digunakan dalam perhitungan komputer, sehingga diperlukan transformasi Fourier dalam waktu diskrit. Algoritma DFT diperoleh dengan mengonversikan operasi integral ke operasi penjumlahan.

Anant *et. al.*, (2014) menyatakan terdapat tiga metode untuk menentukan persamaan DFT yaitu yang pertama metode analitis. Dengan mengubah operasi integral pada persamaan (9) menjadi operasi penjumlahan dan mengubah ω menjadi θ_n dengan $\omega = 2\pi f$, akan diperoleh *Discrete-Time Fourier Transform* (DTFT) seperti pada persamaan (12).

$$X(k) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(n)e^{-j\theta n} \quad (12)$$

dengan θ merupakan frekuensi digital dengan satuan radian per sampel. Algoritma DTFT seperti ditunjukkan pada persamaan (12) belum bersifat diskret pada domain frekuensi, sehingga diperlukan *sampling* pada domain frekuensi. Sampel tersebut berada pada rentang 0 hingga 2π yang ekuivalen dengan 0 sampai f_s Hz. Frekuensi digital (θ) yang telah dilakukan sampling dapat diwakilkan oleh $\theta[k]$, dengan k merupakan indeks frekuensi. Nilai $\theta[k]$ didefinisikan sebagai

$$\theta[k] = \frac{2\pi k}{N} \quad (13)$$

dengan mengganti sampling frekuensi pada persamaan (12) dengan nilai $\theta[k]$ pada persamaan (13), maka algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT) dapat didefinisikan sebagai:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-\frac{j2\pi kn}{N}} \quad (14)$$

dengan indeks domain frekuensi k , sinyal input $x(n)$ dengan indeks waktu diskrit n , dan panjang data N . Metode kedua yaitu menggunakan faktor *twiddle* sebagai berikut.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \quad (15)$$

dimana faktor *twiddle* $W_N^{nk} = e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}$. Kemudian metode ketiga yaitu metode matrik seperti ditunjukkan pada persamaan (16).

$$[X(k)] = [W_N^{nk}] [x(n)]' \quad (16)$$

dimana

$$[W_N^{nk}] = \begin{bmatrix} W_N^0 & W_N^0 & W_N^0 & \dots & W_N^0 \\ W_N^0 & W_N^1 & W_N^2 & \dots & W_N^{N-1} \\ W_N^0 & W_N^2 & W_N^4 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_N^0 & W_N^{N-1} & W_N^{2N} & \dots & W_N^{N-1} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan algoritma pengolahan sinyal yang lebih cepat daripada DFT. Dalam FFT terdapat dua algoritma yaitu *decimation in frequency algorithm* (DIF) dan *decimation in time algorithm* (DIT). Kedua algoritma tersebut merujuk pada algoritma FFT *radix*, yang mana merupakan metode dalam FFT yang digunakan untuk pengolahan sinyal sehingga lebih efisien dan cepat (Tan, 2008). Dari persamaan (15), faktor *twiddle* $W_n = e^{-\frac{j2\pi}{N}}$ dengan $N = 2, 4, 6, 8, 16, \dots, 2^m$ dapat dikembangkan sebagai:

$$X^d[k] = x[0] + x[1]W_N^{k(1)} + x[2]W_N^{k(2)} + \dots + x[N-1]W_N^{k(N-1)} \quad (18)$$

kemudian pada suku $x(n)$ dilakukan pengelompokan antara suku ganjil dan suku genap, sehingga menjadi:

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_N^{(2n+1)k} \quad (19)$$

Persamaan (19) dapat juga ditulis

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_N^{2nk} \quad (20)$$

karena $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$, persamaan (20) dapat diubah menjadi

$$X[n] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (21)$$

dengan $k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1$. Persamaan (21) dapat pula ditulis sebagai fungsi baru sebagai:

$$X[k] = G[k] + W_N^k H[k] \quad (22)$$

dengan $G[k]$ dan $H[k]$ yaitu

$$G[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (23)$$

$$H[k] = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x[2n+1]W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (24)$$

Kemudian domain frekuensi dibagi menjadi dua, sehingga persamaan (23) akan menjadi $G[k] = G[k + \frac{N}{2}]$ dan persamaan (24) menjadi $H[k] = H[k + \frac{N}{2}]$.

Persamaan (22) diubah menjadi persamaan (25) karena $W_N^{k+\frac{N}{2}} = -W_N^k$.

$$X\left[n + \frac{N}{2}\right] = G[k] - W_N^k H(k) \quad (25)$$

Persamaan (20) dan (25) dikenal dengan FFT *radix-2 Decimation In Time* (DIT), dengan cara membagi data menjadi dua bagian, yaitu bagian genap dan bagian ganjil. Selain itu FFT *radix-2* juga dapat didekati dengan pendekatan matrik. Persamaan (26) merupakan susunan matrik DFT untuk $N=8$.

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^4 & W_8^5 & W_8^6 & W_8^7 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^8 & W_8^{10} & W_8^{12} & W_8^{14} \\ 1 & W_8^3 & W_8^6 & W_8^9 & W_8^{12} & W_8^{15} & W_8^{18} & W_8^{21} \\ 1 & W_8^4 & W_8^8 & W_8^{12} & W_8^{16} & W_8^{20} & W_8^{24} & W_8^{28} \\ 1 & W_8^5 & W_8^{10} & W_8^{15} & W_8^{20} & W_8^{25} & W_8^{30} & W_8^{35} \\ 1 & W_8^6 & W_8^{12} & W_8^{18} & W_8^{24} & W_8^{30} & W_8^{36} & W_8^{42} \\ 1 & W_8^7 & W_8^{14} & W_8^{21} & W_8^{28} & W_8^{35} & W_8^{42} & W_8^{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (26)$$

Periodisitas dan simetri dari matrik DFT dapat digambarkan sebagai sebuah fasor untuk W_N^{kn} . Untuk W_8 direpresentasikan dengan sudut fasor 0 yang ditunjukkan dengan panah mengarah ke atas dan rotasi fasor searah dengan jarum jam, seperti ditunjukkan pada matrik (27) (Manolakis dan Ingle, 2011).

$$W_8 = \begin{bmatrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \uparrow & \nearrow & \rightarrow & \searrow & \downarrow & \swarrow & \leftarrow & \nwarrow \\ \uparrow & \rightarrow & \downarrow & \leftarrow & \uparrow & \rightarrow & \downarrow & \leftarrow \\ \uparrow & \searrow & \leftarrow & \nearrow & \downarrow & \nwarrow & \rightarrow & \swarrow \\ \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow \\ \uparrow & \swarrow & \rightarrow & \nwarrow & \downarrow & \nearrow & \leftarrow & \searrow \\ \uparrow & \leftarrow & \downarrow & \rightarrow & \uparrow & \leftarrow & \downarrow & \rightarrow \\ \uparrow & \nwarrow & \leftarrow & \swarrow & \downarrow & \searrow & \rightarrow & \nearrow \end{bmatrix} \quad (27)$$

dengan mengikuti susunan perioditas pada matrik (27), matrik (26) menjadi persamaan (28)

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^4 & W_8^5 & W_8^6 & W_8^7 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & 1 & W_8^{10} & W_8^{12} & W_8^{14} \\ 1 & W_8^3 & W_8^6 & W_8^9 & W_8^{12} & W_8^{15} & W_8^{18} & W_8^{21} \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^{12} & 1 & W_8^{20} & 1 & W_8^{28} \\ 1 & W_8^5 & W_8^{10} & W_8^{15} & W_8^{20} & W_8^{25} & W_8^{30} & W_8^{35} \\ 1 & W_8^6 & W_8^{12} & W_8^{18} & 1 & W_8^{30} & W_8^{36} & W_8^{42} \\ 1 & W_8^7 & W_8^{14} & W_8^{21} & W_8^{28} & W_8^{35} & W_8^{42} & W_8^{49} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (28)$$

dengan substitusi nilai $W_8^4 = -1$, maka suku genap dan ganjil pada matrik (28)

dapat dikelompokkan dan dapat ditulis sebagai:

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & W_8 & W_8^3 & W_8^5 & W_8^7 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^6 \\ 1 & W_8^6 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^3 & W_8 & W_8^7 & W_8^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 & -W_8 & -W_8^3 & -W_8^5 & -W_8^7 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^4 & -W_8^2 & -W_8^6 & -W_8^2 & -W_8^6 \\ 1 & W_8^6 & W_8^4 & W_8^2 & -W_8^3 & -W_8 & W_8^7 & W_8^5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (29)$$

Matriks di atas dapat dibagi menjadi dua bagian sehingga menjadi persamaan

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^4 \\ 1 & W_8^6 & W_8^4 & W_8^2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^2 & W_8^4 & W_8^6 \\ 1 & W_8^4 & 1 & W_8^4 \\ 1 & W_8^6 & W_8^4 & W_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[2] \\ x[4] \\ x[6] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ W_8 & W_8^3 & W_8^5 & W_8^7 \\ W_8^2 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^6 \\ W_8^3 & W_8 & W_8^7 & W_8^5 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ -W_8 & -W_8^3 & -W_8^5 & -W_8^7 \\ -W_8^2 & -W_8^6 & -W_8^2 & -W_8^6 \\ -W_8^3 & -W_8 & W_8^7 & W_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[1] \\ x[3] \\ x[5] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (30)$$

Dengan cara yang sama dapat pula disusun FFT *radix-4*. Persamaan DFT untuk panjang data N dibagi menjadi empat bagian menjadi seperti berikut.

$$\begin{aligned}
X[n] = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n]W_N^{4nk} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+1]W_N^{(4n+1)k} \\
& + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+2]W_N^{(4n+2)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+3]W_N^{(4n+3)k}
\end{aligned} \quad (31)$$

Kemudian persamaan (25) tersebut diuraikan menjadi

$$\begin{aligned}
X[n] = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n]W_N^{4nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+1]W_N^{4nk} \\
& + W_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+2]W_N^{4nk} + W_N^{3k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+3]W_N^{4nk}
\end{aligned} \quad (32)$$

dengan substitusi nilai $W_N^4 = W_{\frac{N}{4}}$ maka dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned}
X[n] = & \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n]W_{\frac{N}{4}}^{4nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+1]W_{\frac{N}{4}}^{4nk} \\
& + W_N^{2k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+2]W_{\frac{N}{4}}^{4nk} + W_N^{3k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x[4n+3]W_{\frac{N}{4}}^{4nk}
\end{aligned} \quad (33)$$

Radix-4 merupakan pengelompokan kembali suku genap dan suku ganjil yang berawal dari *radix-2* dengan menggunakan $N=8$, maka matrik *radix-4* menjadi

$$\begin{bmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \\ X[4] \\ X[5] \\ X[6] \\ X[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & W_8 & W_8^5 & W_8^3 & W_8^7 \\ 1 & 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & W_8^5 & W_8^3 & W_8^7 \\ 1 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^2 & W_8^3 & W_8^7 & W_8 & W_8^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & W_8^4 & W_8^2 & W_8^6 & -W_8 & -W_8^5 & -W_8^3 & -W_8^7 \\ 1 & 1 & W_8^4 & W_8^2 & -W_8^6 & -W_8^5 & -W_8^3 & -W_8^7 \\ 1 & W_8^4 & W_8^6 & W_8^2 & -W_8^3 & -W_8^7 & W_8 & W_8^5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x[0] \\ x[4] \\ x[2] \\ x[6] \\ x[1] \\ x[5] \\ x[3] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (34)$$

6. Smoothing Data

Smoothing data digunakan untuk menghaluskan pola data. Metode *smoothing* yang disarankan SESAME (2004) untuk analisis pengukuran sinyal mikrotremor yaitu metode Konno-Omachi yang ditunjukkan pada persamaan (35) (Konno dan Omachi, 1998).

$$W(\omega - \omega_0) = \frac{\sin(\log_{10} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^b)}{\left(\log_{10} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^b \right)^4} \quad (35)$$

dengan ω adalah frekuensi, ω_0 adalah frekuensi pusat, dan b adalah koefisien *bandwidth*. Nilai *bandwidth* akan mempengaruhi signifikansi hasil *smoothing*. Semakin kecil nilai b maka data yang dihasilkan lebih signifikan. Nilai *bandwidth* yang digunakan adalah 40 (Konno dan Omachi, 1998).

7. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan indeks yang menunjukkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah suatu wilayah terhadap deformasi tanah saat terjadi gempa bumi (Motamed *et. al.*, 2007). Wilayah yang mempunyai indeks kerentanan seismik rendah berpotensi kecil mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi. Sementara itu, daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi berpotensi besar mengalami kerusakan saat gempa bumi.

Kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa bumi terjadi ketika gaya gempa bumi melebihi batas regangan suatu bangunan. Hal ini menyebabkan berubahnya posisi dasar dan keruntuhan pada bangunan yang memiliki stabilitas struktur rendah. Indeks kerentanan seismik didefinisikan untuk kondisi regangan pada skala 10^{-6} (s^2/cm) (Nakamura, 2008). Nakamura (1997) menyatakan pergeseran regangan tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\gamma = \frac{A_g \delta}{H} \quad (36)$$

dengan A_g merupakan faktor amplifikasi, H adalah ketebalan lapisan tanah, dan δ adalah pergeseran gelombang seismik di bawah permukaan tanah. Kecepatan pergeseran gelombang pada permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah masing-masing dilambangkan sebagai v_s dan v_b . Nilai frekuensi dominan (f_g) pada permukaan tanah dirumuskan sebagai:

$$f_g = \frac{v_s}{4H} \quad (37)$$

sehingga nilai ketebalan lapisan dapat dirumuskan menjadi

$$H = \frac{v_s}{4f_g} \quad (38)$$

sedangkan nilai frekuensi dominan pada bawah permukaan tanah dinyatakan sebagai

$$f_g = \frac{v_b}{4A_g H} \quad (39)$$

Nakamura (1997) menyatakan percepatan di bawah permukaan tanah atau batuan dasar dinyatakan sebagai

$$a_b = (2\pi f_g)^2 \delta \quad (40)$$

Jika persamaan (39) dan (40) dimasukkan ke persamaan (36), maka diperoleh

$$\gamma = \frac{A_g a_b}{(2\pi f_g)^2} \frac{4A_g f_g}{v_b} = \frac{A_g^2}{f_g} \frac{a_b}{\pi^2 v_b} \quad (41)$$

apabila efisiensi dari penerapan gaya dinamis yang berpengaruh terhadap regangan adalah sebesar $e\%$ dari gaya statis, maka besarnya regangan efektif γ_e adalah

$$\gamma_e = e K_g a_b \quad (42)$$

Sehingga nilai indeks kerentanan seismik dapat dirumuskan sebagai

$$K_g = \frac{A_g^2}{f_g} \frac{1}{\pi^2 v_b} \quad (43)$$

Nilai v_b pada suatu daerah mendekati nilai konstan, sehingga indeks kerentanan seismik menunjukkan kerentanan suatu daerah untuk terdeformasi yang diukur pada suatu titik.

8. Mikrozonasi

Mikrozonasi merupakan pemetaan potensi bencana oleh guncangan tanah yang kuat saat terjadi gempa pada suatu daerah. Bencana ini meliputi likuifaksi tanah, amplifikasi gerakan tanah, dan tanah longsor (Wang, 2008). Mikrozonasi menghasilkan peta terperinci yang dapat memprediksi bahaya pada skala yang jauh lebih kecil. Mikrozonasi seismik menggambarkan setiap daerah memiliki potensi bencana yang berbeda (Sitharam, 2008). Peta makrozonasi berskala 1:100.000 dan peta mikrozonasi berskala 1:10.000 hingga 1:50.000 berbasiskan SNI 13-6010-1999 dan SNI 1726-2002 (Saputra, *et. al.*, 2010).

Apabila dikombinasikan dengan informasi data mikrotremor suatu daerah, peta mikrozonasi ini akan bermanfaat pada pengembangan strategi mitigasi bencana seperti pengkajian resiko gempabumi, tanggap darurat dan kesiagaan, dan perencanaan tata guna lahan suatu daerah. Mikrozonasi kerentanan seismik menunjukkan bahwa ketika terjadi guncangan yang kuat, kerusakan parah akan terjadi pada daerah yang memiliki kerentanan seismik tinggi (Wang, 2008).

9. Daerah Penelitian

Kabupaten Klaten terletak antara Gunung Merapi dan Pegunungan Seribu dengan ketinggian kurang lebih 75 hingga 160 meter di atas permukaan laut yang terbagi menjadi wilayah Lereng Gunung Merapi di bagian utara, wilayah datar, dan berbukit di bagian selatan (Klaten, 2016). Daerah penelitian terdiri dari dua kecamatan yaitu Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

a. Kecamatan Prambanan

Kecamatan Prambanan terletak antara $110^{\circ}30'$ BT - $110^{\circ}45'$ BT dan $7,30^{\circ}$ LS – $7,45^{\circ}$ LS dengan ketinggian 146 meter di atas permukaan air laut. Secara administratif terdiri dari 16 desa dan 249 dusun. Kecamatan Prambanan dibatasi oleh Kecamatan Manisrenggo di sebelah utara, Kecamatan Jogonalan dan Gantiwarno di sebelah timur, dan Propinsi DIY di sebelah barat dan selatan seperti ditunjukkan pada Gambar 8 (BPS Klaten, 2016).

Kecamatan Prambanan merupakan kecamatan yang mengalami tingkat kerusakan bangunan yang tinggi pada gempa bumi Bantul 27 Mei 2006. Selain kerusakan bangunan, gempa bumi tersebut juga mengakibatkan banyak korban jiwa, meninggal maupun luka-luka. Kecamatan Prambanan termasuk korban jiwa terbanyak setelah Kecamatan Wedi dan Kecamatan Gantiwarno (BAPPEDA, 2006).

b. Kecamatan Gantiwarno

Kecamatan Gantiwarno terletak pada $110,3^{\circ}$ BT – $110,45^{\circ}$ BT dan $7,30^{\circ}$ LS – $7,45^{\circ}$ LS dengan ketinggian 130 meter di atas permukaan air laut. Batas wilayah

Kecamatan Gantiwarno yaitu Kecamatan Jogonalan di sebelah utara, Kecamatan Wedi di sebelah timur, Kecamatan Prambanan di sebelah barat, dan propinsi DIY di sebelah selatan seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Secara administrasi Kecamatan Gantiwarno terbagi menjadi 16 desa, 154 dusun, 126 RW, dan 306 RT (BPS Klaten, 2015). Data kerusakan bangunan dan korban jiwa di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno oleh gempabumi 27 Mei 2006 dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 8. Peta Kabupaten Klaten (BAPPEDA Klaten, 2004)

Tabel 2. Data kerusakan bangunan dan korban jiwa di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno akibat gempabumi tektonik 27 Mei 2006 (BAPPEDA, 2006)

Kecamatan	Korban		Bangunan Rumah Warga		
	Meninggal	Luka-luka	Roboh	Rusak Berat	Ringan
Gantiwarno	331	9136	7292	2615	1565
Prambanan	196	1655	4401	4685	3596

10. Geologi Wilayah Penelitian

Berdasarkan satuan formasi litologi, Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno mempunyai tiga kondisi geologi yaitu (Jogjapro, 2010):

a. Formasi Merapi Muda

Formasi ini tersusun dari breksi vulkan, lava, dan tuf yang berasal dari endapan lahar Gunung Merapi yang masih aktif.

b. Formasi Kebo Butak

Formasi ini tersusun dari batu pasir, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf, dan aglomerat. Formasi ini di bagian atasnya merupakan perselingan yang tidak teratur antara sedimen berlapis yang terdiri dari pasir dan batu lanau dengan bahan sedimen fasies vulkan yang berumur lebih muda. Ketidakteraturan susunan tersebut terjadi karena proses pelipatan dan patahan sesudah formasi-formasi tersebut terbentuk.

c. Formasi Semilir

Formasi ini tersusun dari tuf, breksi, batu apung dasitan, batu pasir tufaan, dan serpih perselingan antara breksi tuf, breksi batu apung, tufa dasit, tufa andesit, serta batu lempung tufaan.

B. Kerangka Berpikir

Sinyal mikrotremor yang diperoleh dalam penelitian ini diolah menggunakan metode HVSR, yakni membandingkan komponen horizontal yang terdiri dari komponen barat-timur dan komponen utara-selatan dengan komponen vertikal untuk menentukan frekuensi alami dari kondisi geologi di Kecamatan Prambanan

dan Kecamatan Gantiwarno. Metode HVSR dilakukan menggunakan program FFT, *smoothing Konno-Omachi*, dan HVSR yang dijalankan pada *software* MATLAB untuk mendapatkan kurva HVSR. Pada Kurva HVSR yang dihasilkan dapat ditentukan frekuensi dominan (f_g), faktor amplifikasi (A_g), dan kecepatan gelombang geser (v_b).

Nilai frekuensi dominan (f_g), faktor amplifikasi (A_g), dan kecepatan gelombang geser (v_b) digunakan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di setiap lokasi penelitian dengan menggunakan persamaan (43). Nilai kecepatan gelombang geser (v_b) diperoleh dari analisis menggunakan inversi kurva HVSR. Nilai indeks kerentanan seismik dibuat dalam bentuk peta mikrozonasi supaya lebih mudah dipahami dan diinterpretasikan. Pembuatan mikrozonasi indeks kerentanan seismik dilakukan menggunakan *software Surfer 10* dan *dioverlay* dengan peta geologi maupun peta zona kerusakan bangunan. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik *dioverlay* dengan peta geologi untuk mengetahui tingkat kerentanan tanah pada setiap kondisi formasi geologi yang ada di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Persentase zona kerusakan bangunan pasca gempabumi 2006 terhadap indeks kerentanan seismik (K_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dilakukan untuk memvalidasi hasil mikrozonasi. Pembuatan peta zona kerusakan bangunan dibuat menggunakan aplikasi *Google Earth* berdasarkan citra satelit bulan Juni 2006.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2016 sampai bulan September 2017. Pengukuran sinyal dilakukan pada tanggal 12, 13, 17 dan 18 Maret 2017. Sebelum dilakukan pengukuran sinyal, telah dilakukan studi literatur dan diskusi yang dimulai pada bulan Desember 2016. Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan secara langsung di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah sebanyak 30 titik penelitian.

B. Instrumen Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak berhubungan dengan program komputer dan perangkat keras merupakan peralatan yang digunakan selama pengukuran sinyal seperti pada Gambar 9.

1. Perangkat Lunak.

- a. *Surfer 10* dari Golden Software inc digunakan untuk menentukan koordinat titik penelitian dan membuat mikrozonasi.
- b. *Global Mapper v 13* dari Blue Marble Geographics untuk memasukkan titik koordinat penelitian ke GPS.
- c. Google Earth untuk mengetahui kondisi lapangan pada tahun tertentu dan membuat zona kerusakan bangunan.

- d. *Sessaray-Geopsy* versi 2.9.1 dari geopsy.org untuk memilih gelombang tanpa *noise* dari sinyal mikrotremor.
 - e. *Monost* dari Xamarin inc untuk menampilkan sinyal mikrotremor.
 - f. Program *Dinver* pada software *Sessaray-Geopsy* versi 2.9.1 dari geopsy.org untuk menganalisis kurva menganalisis kurva H/V menggunakan metode *Ellipticity curve*.
 - g. Program *Fast Fourier Transform* (FFT), *Smoothing Konno-Omachi*, dan *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dengan merujuk pada penelitian Kholis (2015) yang dijalankan pada MATLAB versi R 2008a.
2. Perangkat Keras (*Hardware*)

- a. Seismometer tipe TDV-23S merek Taide.

Seismometer merupakan instrumen yang digunakan untuk merekam getaran tanah yang dihasilkan oleh sumber alami dan buatan (Meyers, 2011). Seismometer mempunyai tiga detektor yang dapat mendeteksi getaran tanah dari dalam tanah dan getaran lain di sekitar lokasi yang menyentuh tanah (Damarla dan Ufford, 2007). Seismometer yang digunakan pada penelitian ini adalah seismometer yang mendeteksi variabel kecepatan dari getaran tanah (TAIDE, 2010). Seismometer tipe TDV-23S ditunjukkan pada Lampiran 6.

- b. *Digital Portable Seismograph* tipe TDL 303-S merek Taide.

Seismograf adalah instrumen yang digunakan untuk mendeteksi dan mencatat getaran tanah akibat gempa bumi dengan disertai informasi waktu. Seismograf terdiri dari seismometer, kabel, *digitizer*, dan *Global*

Positioning System (GPS). Seismograf yang digunakan pada penelitian ini adalah seismograf digital dengan tipe TDL-303S seperti pada Lampiran 6.

- c. Laptop *Acer* tipe *Aspire one* dengan spesifikasi Intel (R) Celeron (R) CPU [847@1.10ghZ](#) (2CPUs) digunakan untuk akuisisi dan analisis data mikrotremor.
- d. Kompas digunakan untuk menentukan kutub utara pada saat mengarahkan Seismometer.
- e. *Global Positioning System* (GPS) merek Garmin tipe 78S untuk menentukan titik lokasi penelitian.



Kompas



Kabel penghubung dan Antena GPS



GPS



Seismograf



Laptop dan *Digitizer*

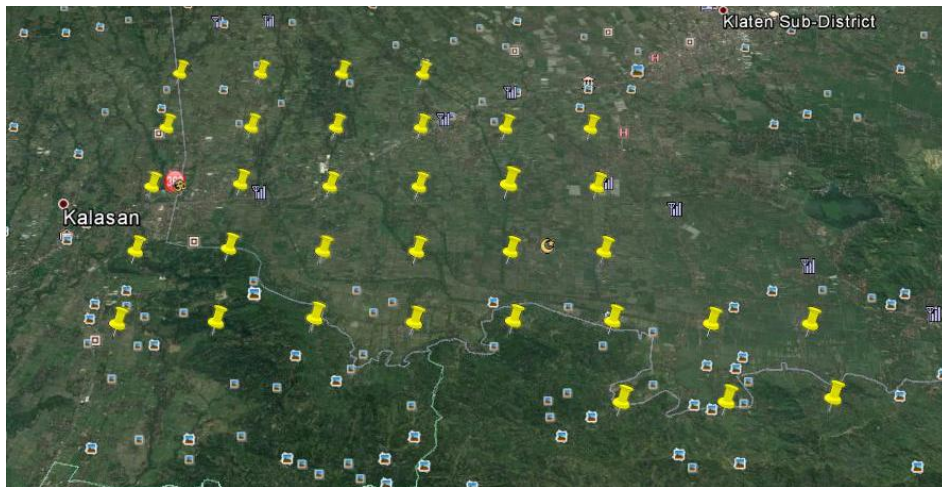
Gambar 9. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

C. Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data terbagi dalam dua tahap yaitu tahap desain survei dan tahap pengambilan data.

1. Tahap Desain Survei

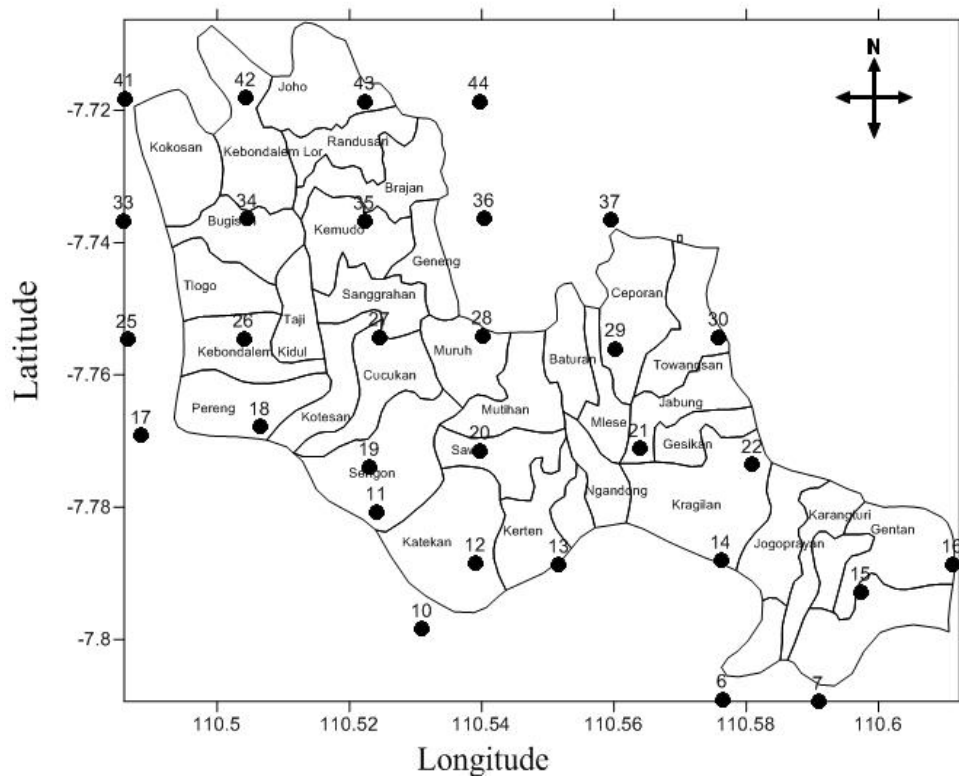
Pembuatan desain survei bertujuan untuk menentukan titik lokasi pengukuran sinyal mikrotremor. Desain survei dilakukan dengan menggunakan software *Surfer 10* sebanyak 33 titik dengan jarak antar titik 2 km, hal ini bertujuan supaya pengambilan data dapat mencakup dan mewakili kawasan Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno yang terdiri dari 3 formasi geologi. Kemudian desain survei ditampilkan pada software *Google Earth* untuk mengetahui kondisi titik lokasi penelitian sebelum survei lokasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta Lokasi Penelitian pada *Google Earth*

Survei lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui medan yang akan dilalui dan kondisi secara langsung lokasi yang akan dijadikan titik pengukuran sinyal mikrotremor. Selain mengacu pada desain survei, penentuan lokasi dan pengukuran juga mempertimbangkan beberapa persyaratan teknis yang

ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil survei titik lokasi secara langsung dan dengan mengacu pada Tabel 3, didapatkan 30 titik yang dapat dijadikan lokasi penelitian, sedangkan 3 titik dihilangkan karena lokasinya tidak memungkinkan untuk dicapai. Titik penelitian mengalami sedikit pergeseran dari titik lokasi pada desain survei yang sudah ditentukan. Hal ini dikarenakan lokasi yang berada di tengah sawah, bangunan rumah warga, perbukitan yang susah dijangkau, dan sumber getar *transient* atau dekat sarana umum. Peta lokasi untuk pengambilan data hasil survei lapangan ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Peta Titik Pengukuran Mikrotremor di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno

Tabel 3. Syarat Teknis Penelitian Mikrotremor (SESAME, 2004)

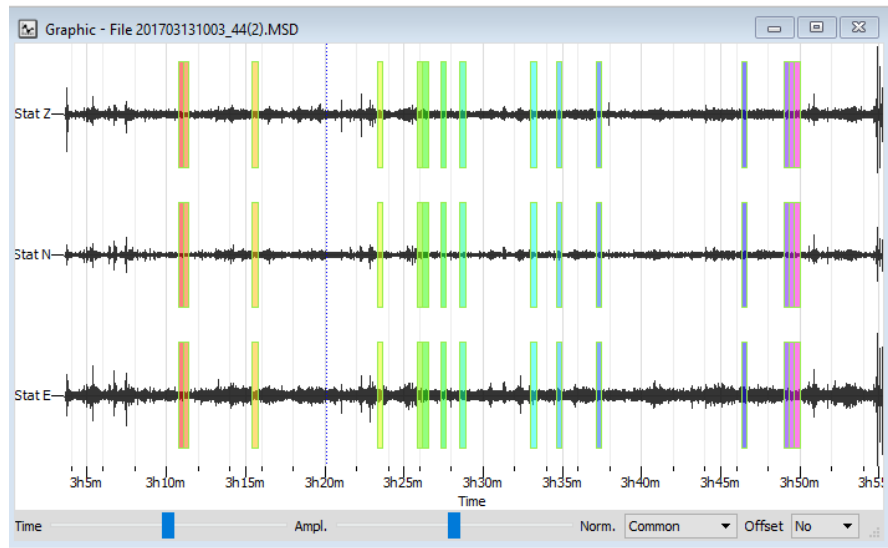
Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
	f_g minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi pencatatan	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor alami (in situ)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Atur sensor langsung pada permukaan tanah • Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. 	
<i>Coupling soil-sensor buatan atau artificial</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. • Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan kedataran sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir 	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ul style="list-style-type: none"> • Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR. • Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong. 	
Kondisi cuaca	<ul style="list-style-type: none"> • Angin : Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). • Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. • Suhu : Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik. 	
Gangguan	<ul style="list-style-type: none"> • Sumber monokromatik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. • Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang. 	

2. Tahap Pengambilan Data

Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan dengan frekuensi sampling 100 Hz selama ± 30 menit dengan mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh SESAME (2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu. Sinyal getaran ini terdiri dari 3 komponen, yaitu 2 komponen horizontal dan 1 komponen vertikal. Komponen horizontal terdiri dari sinyal *North-South* dan sinyal *East-West*, sedangkan komponen vertikal merupakan sinyal getaran *Up and Down*. Data tersebut dapat secara langsung ditampilkan pada laptop dengan menggunakan *software Monost*.

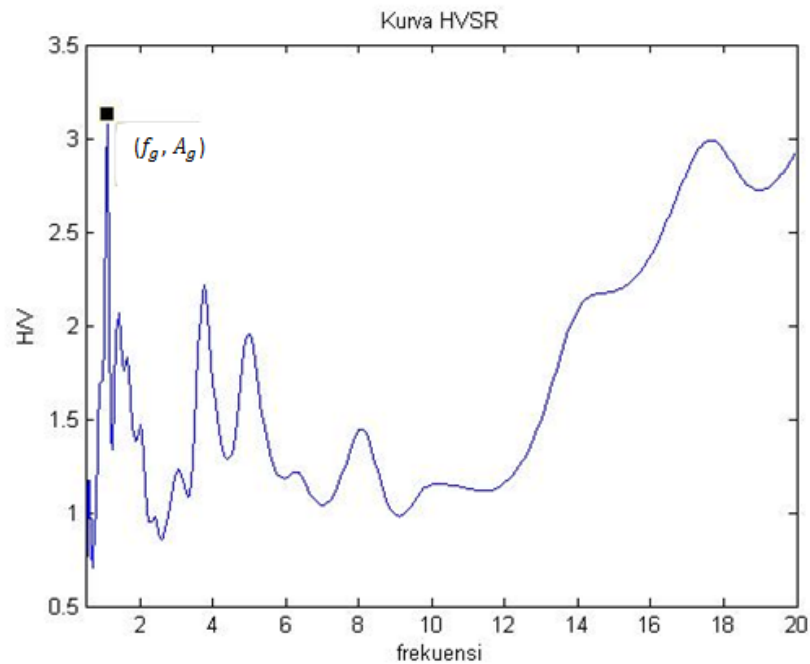
D. Teknik Analisis Data

Setelah mendapatkan sinyal mikrotremor, dilakukan proses *cutting* gelombang (*windowing*). *Cutting* merupakan pemilihan sinyal tanpa *noise* menggunakan program *Sesarray-Geopsy*. Proses *cutting* dilakukan dengan mengacu pada lembar *check list* saat pengambilan data dengan waktu 20 detik setiap *window*nya seperti yang disarankan oleh SESAME (2004). Contoh proses *cutting* ditunjukkan pada Gambar 12. Kemudian data hasil *cutting* setiap titik digabungkan kembali menjadi satu sinyal dalam satu buah file data. File ini akan menjadi sumber data bagi program FFT dan HVSR pada MATLAB.



Gambar 12. Proses Pemilihan Sinyal tanpa *noise* pada titik 44

Sinyal gelombang tanpa *noise* yang diinput ke dalam algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) pada MATLAB digunakan untuk mengubah gelombang dalam fungsi waktu menjadi fungsi frekuensi. Kemudian data sinyal tersebut di-smoothing dengan metode Konno-Ohmachi. Sinyal gelombang ini terdiri atas 1 komponen gelombang vertikal dan 2 komponen gelombang horizontal, sehingga akan diperoleh grafik dan data dari masing-masing komponen. Selanjutnya data tersebut dianalisis untuk menentukan nilai HVSr seperti pada persamaan (8). Data hasil perhitungan HVSr kemudian diinput pada program HVSr menggunakan MATLAB sehingga diperoleh kurva HVSr. Kurva tersebut menunjukkan nilai frekuensi dominan (frekuensi pada *peak* kurva HVSr) dan faktor amplifikasi (amplitudo *peak* kurva HVSr) yang masing-masing disimbolkan dengan f_g dan A_g pada setiap titik penelitian. Contoh kurva HVSr ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Contoh Kurva HVSR di Kecamatan Gantiwarno

Langkah selanjutnya adalah melakukan uji kriteria *reliable* dan *clear peak* pada kurva HVSR. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada kriteria yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*. Kurva HVSR harus memenuhi 3 kriteria *reliable* yang sudah dipaparkan pada Bab 2. Kemudian melakukan pengujian 6 kriteria *clear peak*. Kriteria ini menunjukkan apakah kurva HVSR yang dihasilkan masuk dalam kategori *clear peak*. Dalam kategori ini kurva HVSR harus memenuhi minimal 5 kriteria dari 6 kriteria yang sudah ditetapkan.

Kriteria *clear peak* yang pertama yaitu nilai rata-rata faktor amplifikasi $A_{H/V}(f^-)$ dalam rentang $f_g/4$ sampai f_g harus lebih kecil dari $A_g/2$. Kriteria yang kedua yaitu nilai rata-rata faktor amplifikasi $A_{H/V}(f^+)$ dalam rentang f_g sampai $4f_g$ lebih kecil dari $A_g/2$. Kriteria ketiga yaitu nilai faktor amplifikasi A_g

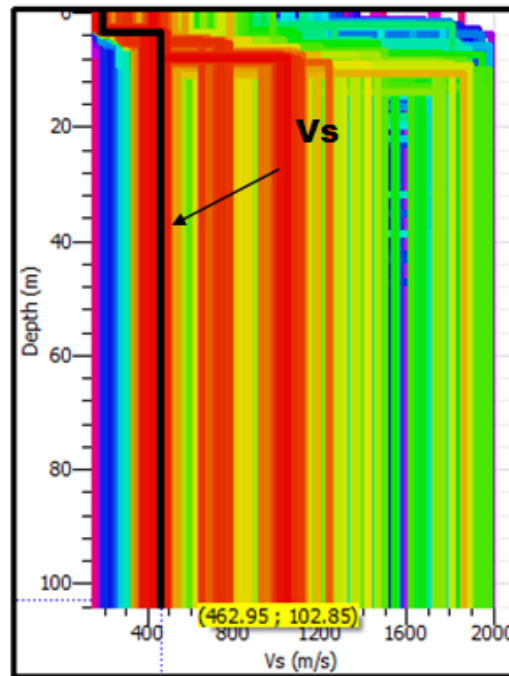
lebih besar dari 2. Kemudian kriteria yang keempat yaitu $f_{peak} [A_{H/V} \pm \sigma_A(f)] = f_g \pm 5\%$, yang artinya nilai faktor amplifikasi pada rentang $A_{H/V} - \sigma_A(f)$ sampai $A_{H/V} + \sigma_A(f)$ harus menjadi bagian dari nilai frekuensi dominan pada rentang $f_g - 5\%f_g$ sampai $f_g + 5\%f_g$. Kriteria kelima yaitu nilai standar deviasi σ_f harus lebih kecil dari nilai *threshold* $\varepsilon(f_g)$. Kriteria yang terakhir yaitu nilai standar deviasi $\sigma_A(f_g)$ harus lebih kecil dari *threshold* $\Theta(f_g)$. Pada kriteria 5 dan 6, nilai *threshold* dapat ditentukan pada Tabel 4 dengan masing-masing batas frekuensi.

Tabel 4. Nilai *Threshold* untuk σ_f dan $\sigma_A(f_g)$ (SESAME, 2004).

	Nilai <i>Threshold</i> untuk σ_f dan $\sigma_A(f_g)$				
<i>Frequency range</i> [Hz]	< 0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	> 2,0
$\varepsilon(f_g)$ [Hz]	$0,25 f_g$	$0,20 f_g$	$0,15 f_g$	$0,10 f_g$	$0,05 f_g$
$\Theta(f_g)$ untuk $\sigma_A(f_g)$	3,0	2,5	2,0	1,78	1,58
$\text{Log } \Theta(f_g)$ untuk $\sigma_{\log H/V}(f_g)$	0,48	0,40	0,30	0,25	0,20

Parameter kecepatan gelombang geser pada lapisan *bedrock* (v_b) pada persamaan indeks kerentanan seismik (K_g), diperoleh dari analisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve* (invers) pada program *Dinver*. Hasil analisis nilai kecepatan gelombang geser menggunakan program *Dinver* ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil dari metode tersebut yaitu *ground profiles* kecepatan gelombang geser (v_s). Garis hitam pada *ground profiles* menunjukkan model dengan nilai *misfit* terbaik. Nilai kecepatan gelombang geser pada lapisan

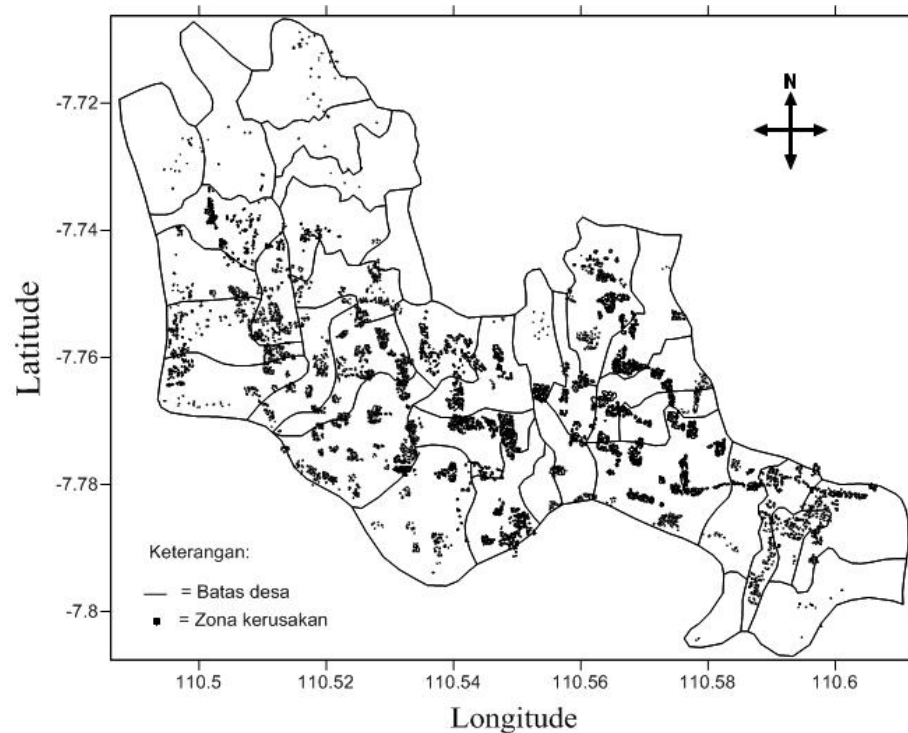
bedrock (v_b) merupakan hasil interpretasi *ground profiles* v_s dengan nilai lebih dari 350 m/s.



Gambar 14. Analisis nilai v_s pada *Dinver*

Nilai frekuensi dominan (f_g), faktor amplifikasi (A), dan kecepatan gelombang pada lapisan *bedrock* (v_b) digunakan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) seperti dinyatakan pada persamaan (43). Langkah selanjutnya yaitu membuat mikrozonasi dari data indeks kerentanan seismik (K_g) yang diperoleh menggunakan *software Surfer 10*. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dioverlay dengan peta geologi lokasi penelitian dan peta zona kerusakan bangunan. Peta zona kerusakan bangunan dibuat berdasarkan pola kerusakan akibat gempabumi pada tahun 2006. Peta zona kerusakan tersebut dibuat menggunakan bentuk *polygon* pada sebaran kerusakan bangunan berdasarkan citra satelit bulan Juni tahun 2006 pada aplikasi *Google Earth*. Gambar 15

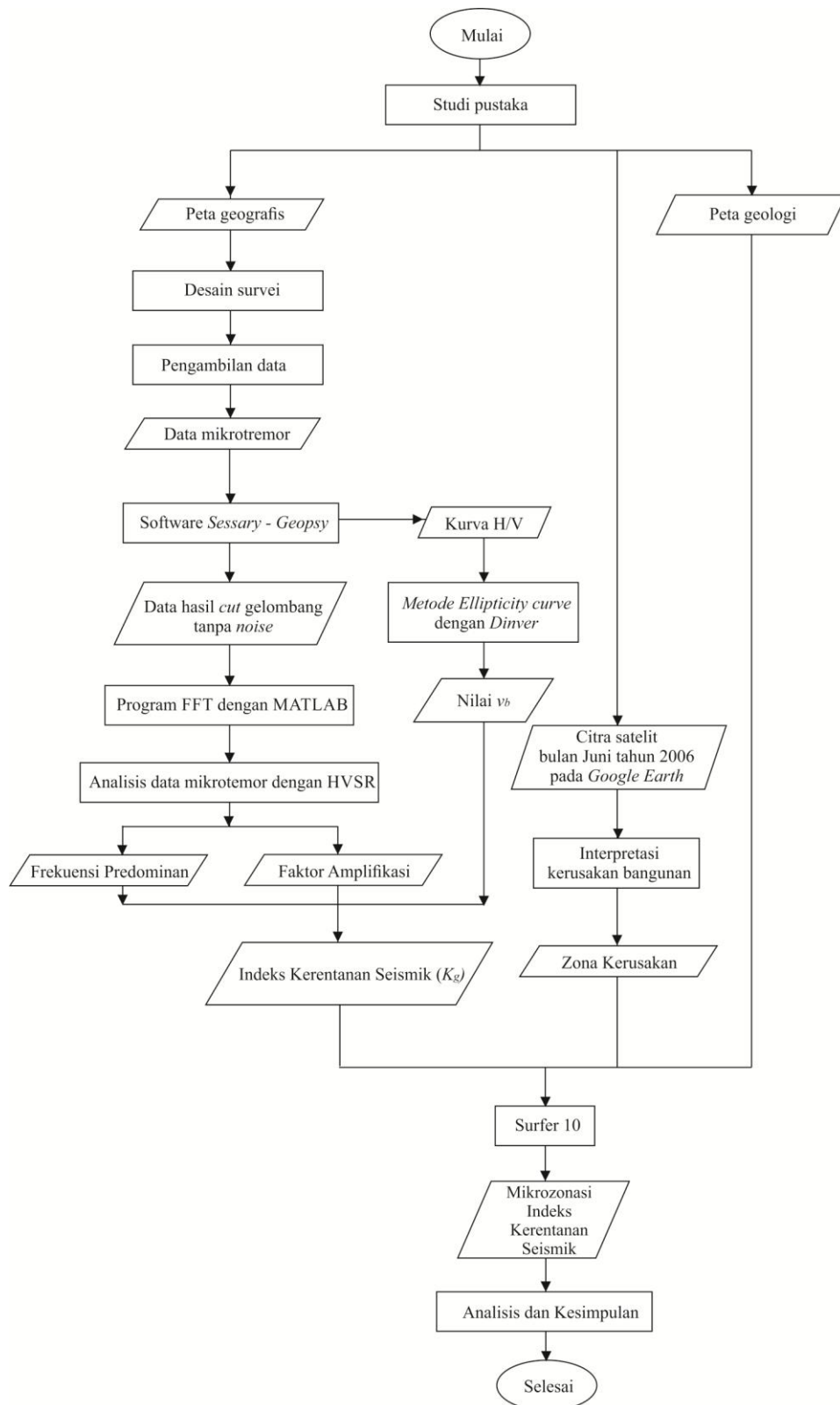
menunjukkan peta zona kerusakan bangunan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.



Gambar 15. Peta zona kerusakan bangunan akibat gempabumi Bantul 2006 di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram alir penelitian

BAB IV

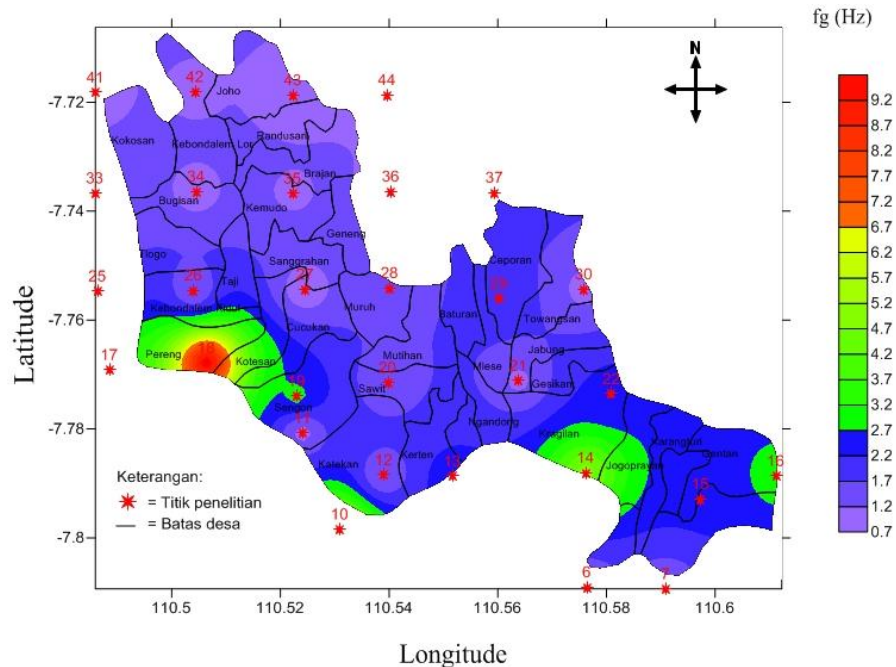
HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks kerentanan seismik (K_g), frekuensi dominan (f_g) dan faktor amplifikasi (A_g) yang diperoleh pada setiap titik penelitian dapat dibuat peta mikrozonasi. Pemodelan mikrozonasi tersebut dioverlay pada batas administrasi, geologi, dan zona kerusakan bangunan akibat gempabumi Bantul 2006 sehingga lebih mudah diinterpretasikannya. Berdasarkan peta geologi Kabupaten Klaten yang ditunjukkan pada Lampiran 7, lokasi penelitian berada di tiga formasi geologi, yaitu Formasi Merapi Muda, Formasi Kebobutak, dan Formasi Semilir.

A. Distribusi nilai frekuensi dominan (f_g)

Nilai frekuensi dominan merupakan cerminan dari kondisi fisik tanah yaitu tebal atau tipisnya lapisan sedimen suatu daerah. Penelitian Petermans *et. al.* (2006) menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan memiliki hubungan yang erat dengan ketebalan sedimen, yaitu semakin rendah frekuensi dominan ketebalan lapisan sedimen semakin besar. Hubungan frekuensi dominan dan ketebalan lapisan sedimen juga dinyatakan oleh Nakamura (2008) dalam persamaan 38 yang menyatakan bahwa frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan sedimen, sehingga frekuensi dominan yang rendah menggambarkan suatu daerah dengan sedimen yang tebal atau tanah yang lunak, sedangkan nilai frekuensi dominan yang tinggi menggambarkan daerah

tersebut memiliki ketebalan sedimen yang tipis dan memiliki tanah yang lebih keras. Mikrozonasi frekuensi dominan (f_g) ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

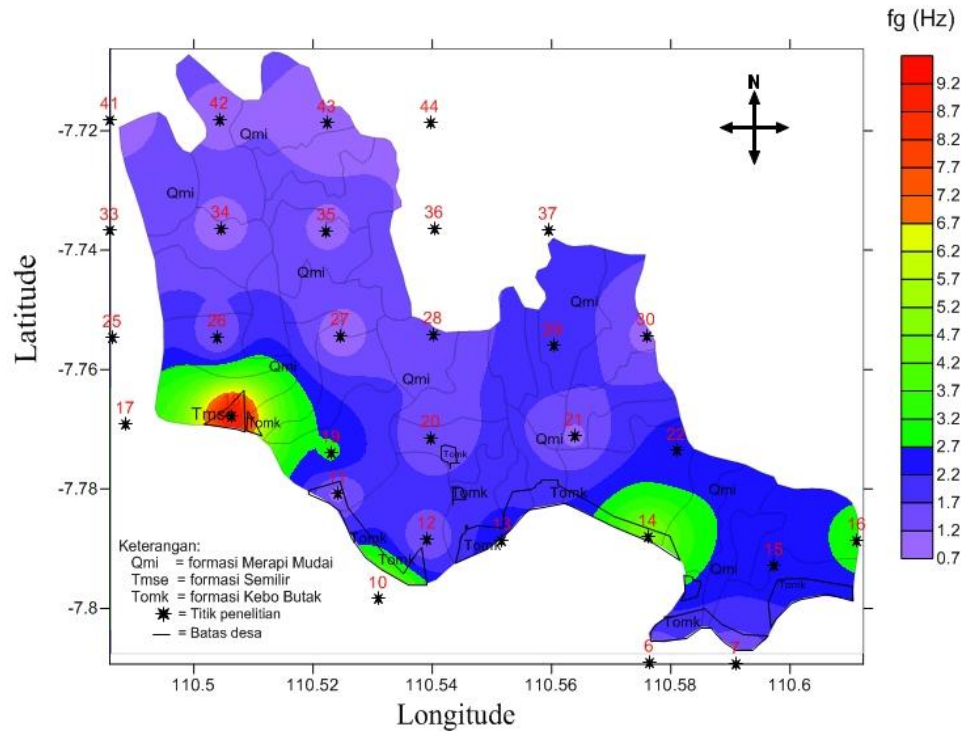
Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno memiliki nilai frekuensi dominan bervariasi dengan nilai minimum 0,7 Hz di sebelah timur Desa Joho dan nilai maksimum 9,5 Hz di Desa Pereng Kecamatan Prambanan. Berdasarkan mikrozonasi frekuensi dominan (f_g) pada Gambar 17, diperoleh nilai frekuensi dominan dengan kriteria rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan klasifikasi Kannai. Nilai frekuensi rendah berada pada kisaran 0,7 Hz – 2,5 Hz. Daerah dengan frekuensi rendah ini dimungkinkan mempunyai kondisi tanah yang lunak dan sedimen yang tebal. Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno sebagian besar memiliki frekuensi dominan rendah yaitu dengan persentase 75,61% dari total luas dua kecamatan tersebut yang tersebar di Desa Kokosan,

Desa Kebondalem Lor, Desa Joho, Desa Randusari, Desa Bugisan, Desa Kemudo, Desa Tlogo, Desa Taji, Desa Sanggrahan, Desa Brajan, Desa Kebondalem Kidul sebelah utara, Desa Sengon sebelah timur, Desa Muruh, Desa Mutihan, Desa Gentan sebelah barat, Desa Sawit, Desa Karangturi, Desa Kerten, Desa Mlese, Desa Baturan, Desa Towangsan, Desa Gesikan, Desa Ngandong, dan Desa Katekan sebelah utara.

Frekuensi dominan (f_g) dengan nilai sedang berkisar 2,6 Hz sampai 6,67 Hz menyebar di 24,42% dari total luas wilayah Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Daerah yang memiliki frekuensi rendah tersebut yaitu Desa Kotesan, Desa Pereng, Desa Cucukan sebelah selatan, Desa Sengon sebelah barat, Desa Gentan sebelah timur, Desa Kragilan, Desa Jogoprayan, dan Desa Katekan Kecamatan Gantiwarno. Sementara itu nilai frekuensi dominan (f_g) dengan nilai tinggi berkisar 6,68 Hz sampai 9,5 Hz menyebar di 0,97% dari total luas wilayah penelitian yaitu bagian selatan Desa Pereng dan Kotesan. Daerah yang memiliki frekuensi dominan yang tinggi dimungkinkan tersusun dari tanah yang lebih keras dan memiliki sedimen yang tipis.

Apabila ditinjau dari formasi geologi seperti yang ditunjukkan Gambar 18, lokasi penelitian yang memiliki frekuensi dominan rendah sebagian besar termasuk dalam Formasi Merapi Muda yang didominasi oleh endapan lahar gunungapi aktif yang tergolong tanah lunak. Berdasarkan klasifikasi Kanai, frekuensi kurang dari 2,5 Hz termasuk jenis tanah IV yang terdiri dari material tanah lembek, humus, dan tanah yang tergolong pada jenis tanah lunak yang sama dengan material penyusun Formasi Merapi Muda. Pada kondisi tanah lunak atau

dengan frekuensi dominan rendah, durasi gelombang gempa yang melewati tanah tersebut lebih lama dan mengalami penguatan yang lebih besar sehingga menyebabkan guncangan yang besar dan tingkat kerusakan yang tinggi.



Gambar 18. Mikrozonasi Frekuensi Predominan (f_g) pada Satuan Formasi Geologi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno

Lokasi penelitian yang memiliki nilai frekuensi dominan sedang berada pada Formasi Merapi Muda yang didominasi oleh endapan lahar gunungapi aktif dan Formasi Kebobutak yang terdiri dari batu pasir, aglomerat, serpih, batu lanau, dan batu lempung. Hal ini sesuai dengan klasifikasi Kanai yaitu pada frekuensi 2,5 Hz sampai 6,7 Hz termasuk jenis tanah II dan jenis tanah III yang terdiri dari batuan alluvial, pasir berkerikil (*sandy gravel*), pasir berlempung keras (*sandy hard clay*), tanah liat, dan lempung (*loam*) yang merupakan penggabungan

kondisi tanah lunak seperti penyusun Formasi Merapi Muda dan tanah keras seperti material penyusun Formasi Kebobutak.

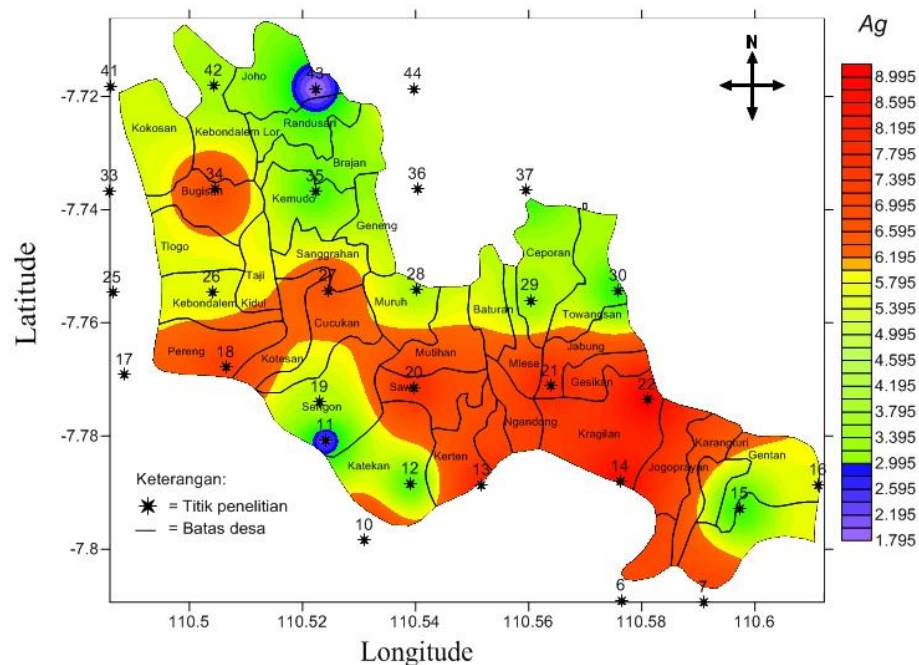
Sementara itu lokasi yang memiliki nilai frekuensi dominan tinggi berada pada Formasi Kebobutak dan Formasi Semilir yang terdiri dari tuf, breksi, batu apung dasitan, dan aglomerat yang tergolong material keras. Hal ini sesuai dengan klasifikasi Kanai yaitu tanah dengan frekuensi 6,67 Hz – 20 Hz termasuk ke dalam jenis tanah I yang terdiri dari batuan keras (*rock*), pasir kerikil keras (*hard sandy gravel*), dan tanah yang tergolong dalam tanah tersier atau lapisan tanah tua. Pada daerah dengan frekuensi dominan tinggi atau kondisi tanah keras, durasi gelombang gempa yang melewati tanah tersebut akan semakin pendek sehingga menyebabkan guncangan yang kecil dan tingkat kerusakan yang rendah.

B. Distribusi nilai faktor amplifikasi (A_g)

Selain frekuensi dominan, didapatkan juga nilai faktor amplifikasi (A_g) dari pengolahan kurva HVSR. Faktor amplifikasi berbanding terbalik dengan kecepatan gelombang geser, semakin kecil kecepatan gelombang maka faktor amplifikasi semakin besar (Nakamura, 2008). Kecepatan gelombang dipengaruhi oleh kepadatan batuan daerah tersebut. Semakin berkurang kepadatan batuan suatu daerah menyebabkan gelombang yang melewatinya mempunyai kecepatan yang kecil sehingga mempunyai faktor amplifikasi yang besar. Hal tersebut menyebabkan faktor amplifikasi juga dipengaruhi oleh kepadatan batuan (Putri, 2016). Semakin tinggi nilai faktor amplifikasi maka guncangan yang dirasakan

juga semakin besar sehingga risiko kerusakan yang dialami suatu daerah semakin tinggi. Mikrozonasi faktor amplifikasi (A_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno ditunjukkan pada Gambar 19.

Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno memiliki nilai faktor amplifikasi bervariasi dari 1,795 sampai 9,010. Berdasarkan peta mikrozonasi faktor amplifikasi (A_g) yang ditunjukkan pada Gambar 19, faktor amplifikasi dikelompokkan menjadi 3 kriteria yaitu kriteria rendah, sedang, dan tinggi. Daerah yang memiliki faktor amplifikasi rendah memiliki nilai 1,795 sampai 2,995, kategori sedang dengan nilai 2,996 sampai 5,995, dan kategori tinggi dengan nilai 5,996 sampai 9,010. Daerah dengan faktor amplifikasi rendah mencakup 1,25% dari seluruh luas wilayah Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno yang meliputi Desa Randusari, Desa Joho, Desa Brajan, dan Desa Sengon sebelah selatan.

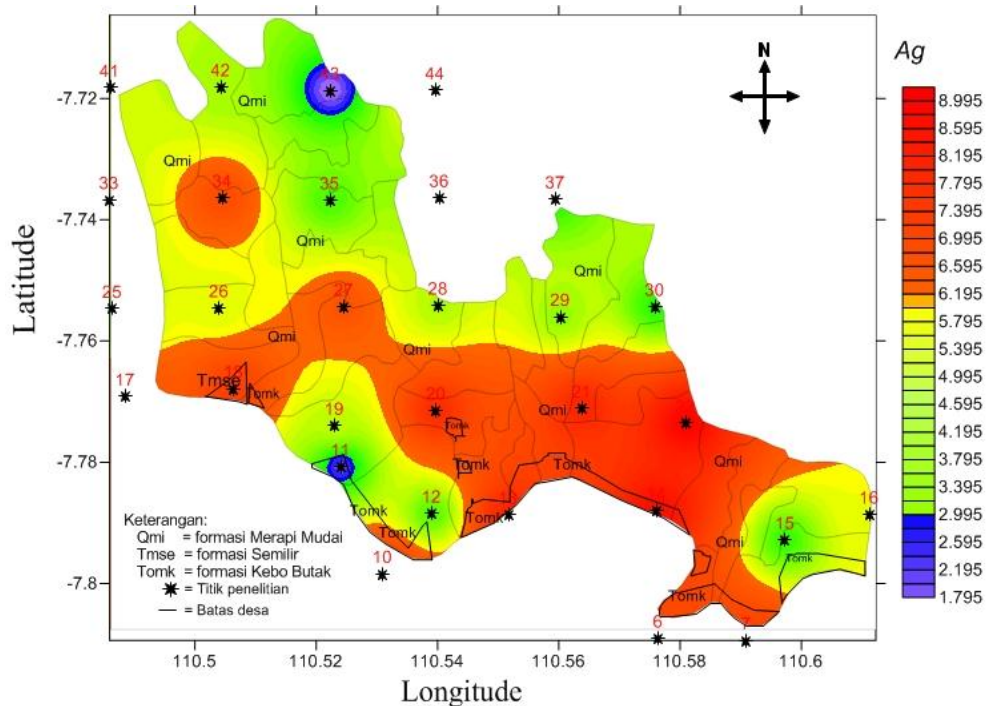


Gambar 19. Mikrozonasi faktor amplifikasi (A_g) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Daerah dengan faktor amplifikasi sedang mencakup 55,97 % dari seluruh luas wilayah lokasi penelitian. Lokasi tersebut meliputi Desa Tlogo, Desa Kebondalem Lor, Desa Gentan, Desa Kemudo, Desa Brajan, Desa Sengon sebelah utara, Desa Sanggrahan, Desa Ceporan, Desa Taji, Desa Katekan, Desa Geneng, Desa Baturan sebelah utara, Desa Muruh, dan Desa Towangsan. Sementara itu, daerah dengan nilai faktor amplifikasi tinggi menyebar di 42,78 % dari lokasi penelitian yang meliputi Desa Bugisan, Desa Pereng, Desa Kotesan, Desa Cucukan sebelah utara, Desa Sawit, Desa Kerten, Desa Mlese, Desa Ngandong, Desa Kragilan, Desa Gesikan, Desa Jogoprayan, Desa Karangturi, Desa Jabung, Desa Mutihan, dan Desa Muruh sebelah selatan.

Apabila ditinjau dari formasi geologi seperti yang ditunjukkan Gambar 20, lokasi penelitian dengan nilai faktor amplifikasi rendah berada pada Formasi Kebobutak dan sedikit Formasi Merapi Muda. Sementara itu, lokasi penelitian yang memiliki faktor amplifikasi sedang sampai tinggi mayoritas berada pada formasi Merapi Muda yang sebagian besar merupakan endapan lahar gunungapi aktif yang tergolong tanah lunak, sedikit Formasi Kebobutak, dan sedikit Formasi Semilir. Apabila dikorelasikan dengan konsep amplifikasi, pada kondisi jenis tanah lunak gelombang akan teramplifikasi lebih besar. Hal tersebut dikarenakan tanah yang lunak atau kondisi tanah dengan kepadatan batuan yang rendah memiliki inersia yang kecil, sehingga tanah akan mudah digerakkan dan mengalami guncangan yang besar pada saat terjadi gempa bumi. Berdasarkan sebaran nilai faktor amplifikasi tampak bahwa Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno didominasi dengan nilai faktor amplifikasi sedang sampai

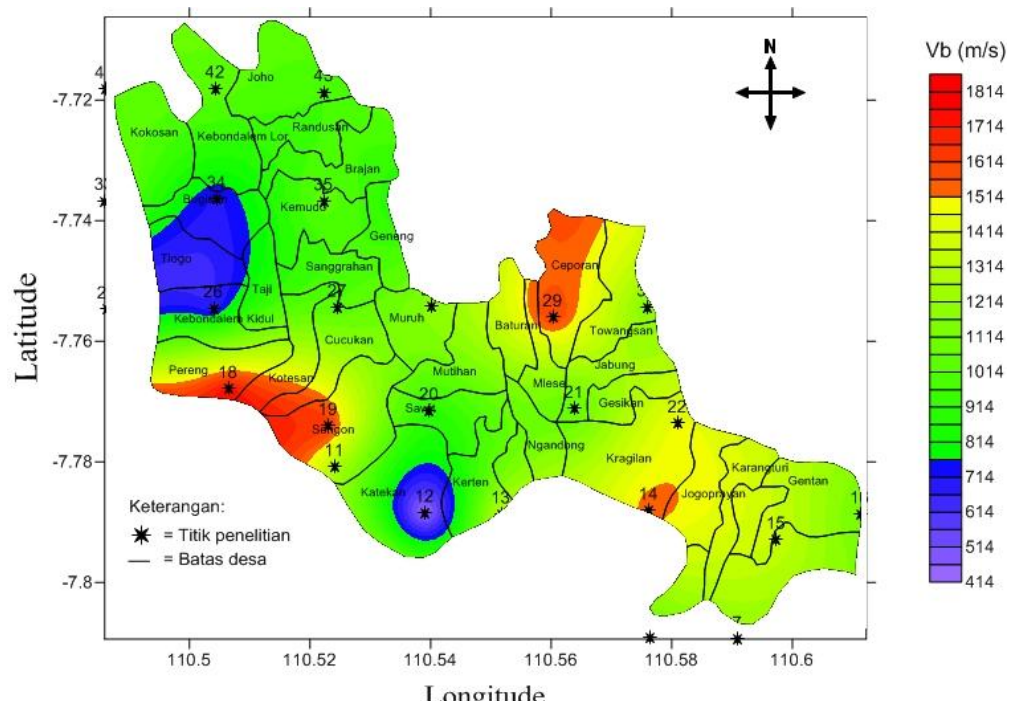
tinggi, sehingga akan merasakan guncangan yang kuat dan beresiko mengalami kerusakan tinggi saat terjadi gempa bumi.



Gambar 20. Mikrozonasi Faktor Amplifikasi (A_g) pada Satuan Formasi Geologi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno

C. Distribusi nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar (v_b)

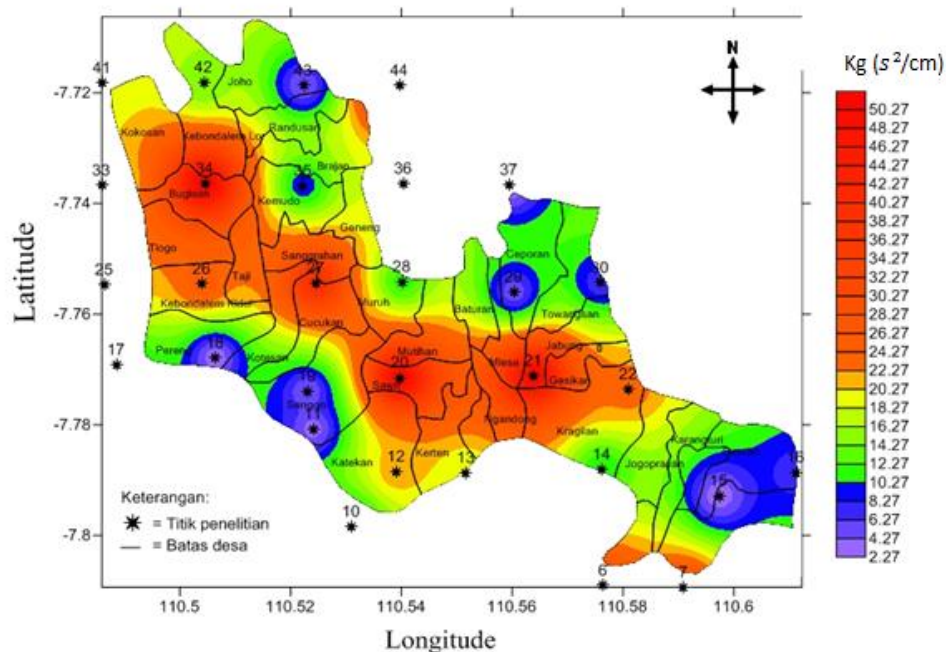
Kecepatan gelombang geser pada batuan dasar atau *bedrock* (v_b) diperoleh dari analisis kurva H/V menggunakan metode *ellipticity curve* pada *software Dinver*. Berdasarkan persamaan 40, kecepatan gelombang geser pada batuan dasar atau *bedrock* (v_b) berbanding lurus dengan ketebalan sedimen, faktor amplifikasi, dan frekuensi dominan (Nakamura, 2008). Mikrozonasi kecepatan gelombang geser pada batuan dasar atau *bedrock* (v_b) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Mikrozonasi kecepatan gelombang geser pada batuan dasar atau *bedrock* (v_b) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Kecepatan gelombang geser pada batuan dasar (v_b) di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berkisar 414,45 m/s sampai 1744,53 m/s. Nilai kecepatan gelombang geser pada batuan dasar menunjukkan jenis batuan pada lokasi tersebut. Nilai v_b dengan rentang 400 m/s sampai 750 m/s menunjukkan batuan lunak. Nilai dengan rentang 750 m/s sampai 1500 m/s menunjukkan batuan. Sementara itu nilai v_b lebih dari 1500m/s merupakan batuan keras (ASCE, 2010). Berdasarkan mikrozonasi pada Gambar 21, Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno sebagian besar mempunyai nilai v_b pada rentang 400 m/s sampai 750 m/s.

D. Distribusi nilai indeks kerentanan seismik (K_g)



Gambar 22. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno

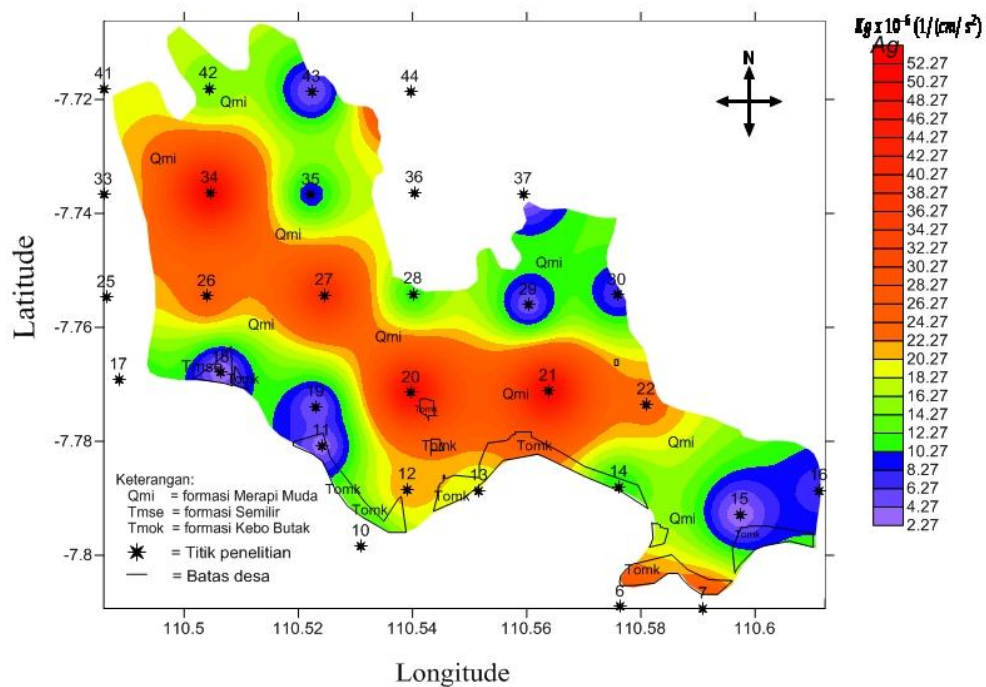
Indeks kerentanan seismik memberikan informasi tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah saat terjadi gempa bumi, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui tinggi atau rendahnya potensi suatu wilayah mengalami kerusakan. Mikrozonasi hasil perhitungan indeks kerentanan seismik ditunjukkan pada Gambar 22. Berdasarkan peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik, diperoleh nilai yang bervariasi dengan nilai minimum $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ di sebelah utara Desa Ceporan dan nilai maksimum $52,53 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ di Desa Bugisan. Nilai tersebut menunjukkan daerah dengan kerentanan tanah yang rendah sampai dengan kerentanan tanah yang tinggi. Indeks kerentanan seismik rendah dengan nilai sekitar $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $8,58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ menyebar di 12,72% dari lokasi penelitian yang meliputi Desa Joho sebelah timur, Desa

Pereng, Desa Ceporan, Desa Jogoprayan, Desa Gentan, dan Desa Sengon sebelah selatan.

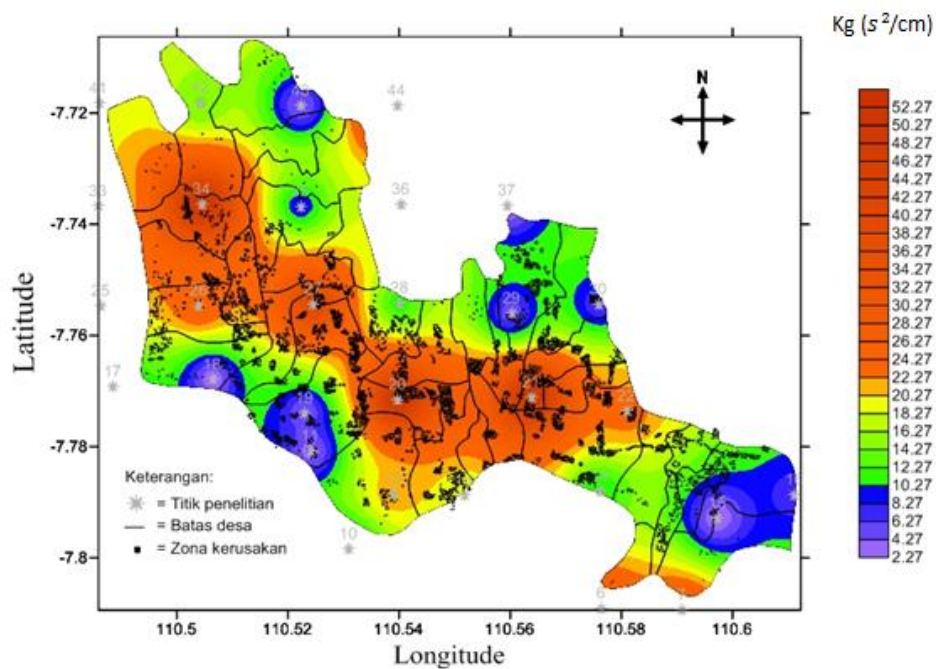
Daerah dengan indeks kerentanan seismik sedang dengan nilai sekitar $10,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ tersebar di 42,77% dari lokasi penelitian dan indeks kerentanan seismik relatif tinggi dengan nilai lebih dari $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ tersebar di 44,51% dari lokasi penelitian. Wilayah yang memiliki indeks kerentanan seismik sedang yaitu Desa Kokosan sebelah utara, Desa Kebondalem Lor sebelah utara, Desa Randusari, Desa Cucukan sebelah selatan, Desa Muruh sebelah utara, Desa Kerten, Desa Kragilan, Desa Jabung sebelah utara, Desa Kemudo dan Desa Geneng. Sementara itu daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik relatif tinggi menyebar di Desa Bugisan, Desa Sawit, Desa Tlogo, Desa Taji, Desa Mutihan, Desa Sanggrahan, Desa Kebondalem Kidul, Desa Cucukan sebelah utara, Desa Jabung sebelah selatan, Desa Mlese, Desa Ngandong, dan Desa Gesikan. Dengan tingginya nilai indeks kerentanan seismik menyebabkan daerah tersebut rawan dan akan berpotensi mengalami tingkat kerusakan yang tinggi saat terjadi gempabumi.

Berdasarkan hasil *overlay* data indeks kerentanan seismik dengan peta geologi Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno seperti pada Gambar 23, daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik rendah menyebar pada Formasi Kebobutak, Formasi Semilir, dan sedikit di Formasi Merapi Muda. Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik sedang dan tinggi sebagian besar berada di Formasi Merapi Muda dan sedikit di Formasi Kebobutak. Dilihat dari kondisi geologinya, Formasi Merapi Muda terbentuk dari endapan lahar

gunungapi yang masih aktif atau tergolong jenis tanah lunak, sehingga gelombang gempabumi yang melewati daerah tersebut akan teramplifikasi dan menyebabkan tingkat kerusakan yang relatif tinggi. Formasi Semilir dan Formasi Kebobutak terdiri dari batuan tuf, breksi, batu apung dasitan, batu pasir tufaan, dan aglomerat yang termasuk material keras. Pada formasi tersebut gelombang yang melewati akan teramplifikasi lebih rendah atau mengalami guncangan gempabumi yang lebih kecil daripada daerah dengan Formasi Merapi Muda. Menurut Nakamura (2008), daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik rendah akan lebih tahan terhadap bahaya gempabumi, sehingga saat terjadi gempabumi kemungkinan kerusakan yang ditimbulkan semakin rendah.



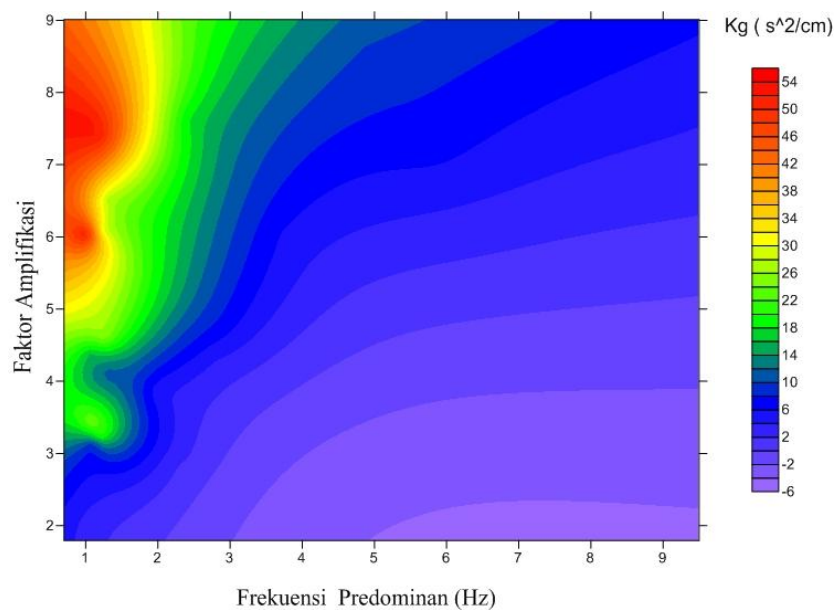
Gambar 23. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik pada Satuan Formasi Geologi di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.



Gambar 24. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik (K_g) dan Zona Kerusakan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno

Berdasarkan hasil *overlay* indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno dengan peta zona kerusakan akibat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24, daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik tinggi memiliki persentase kerusakan 68,77% dari total seluruh kerusakan di dua kecamatan tersebut. Sementara itu, daerah dengan indeks kerentanan seismik sedang memiliki persentase kerusakan 27,72% dan daerah dengan indeks kerentanan seismik rendah memiliki persentase 3,51%. Berdasarkan hasil persentase zona kerusakan tersebut nampak bahwa jumlah kerusakan bangunan tertinggi terdapat pada daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik relatif tinggi yaitu lebih dari $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$. Dengan tingginya nilai indeks kerentanan seismik menyebabkan daerah tersebut memiliki potensi bahaya yang lebih tinggi dan

kerusakan bangunan yang lebih besar saat terjadi gempa bumi. Faktor yang menyebabkan kerusakan bangunan juga dipengaruhi oleh kekuatan dan kondisi bangunan. Misalnya bangunan dengan kondisi struktur bangunan tidak kokoh akan tetap mengalami kerusakan berat walaupun berada pada daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik rendah maupun sedang.



Gambar 25. Pengaruh frekuensi dominan (f_g) dan faktor amplifikasi (A_g) terhadap nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno.

Pengaruh frekuensi dominan dan faktor amplifikasi terhadap nilai indeks kerentanan seismik berdasarkan hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 25. Berdasarkan hasil mikrozonasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai indeks kerentanan seismik (K_g) akan bernilai tinggi saat frekuensi dominan (f_g) rendah dan faktor amplifikasi (A_g) tinggi. Sementara itu nilai indeks kerentanan seismik akan bernilai rendah saat frekuensi dominan (f_g) tinggi dan faktor amplifikasi (A_g) rendah. Semakin tinggi nilai faktor amplifikasi, daerah tersebut

cenderung mengalami guncangan yang besar, begitu juga sebaliknya dengan daerah yang memiliki amplifikasi rendah. Semakin tinggi nilai frekuensi dominan maka daerah tersebut lebih tahan terhadap gempa bumi.

Mikrozonasi indeks kerentanan seismik (K_g) bertujuan untuk memberikan informasi suatu daerah berdasarkan kerentanan tanahnya terhadap gempa bumi. Peta mikrozonasi indeks kerentanan seismik pada penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam perencanaan dan pembangunan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno. Dengan memperhatikan struktur dan kualitas bangunan pada daerah yang mempunyai indeks kerentanan seismik sedang sampai tinggi diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kerusakan akibat gempa bumi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai frekuensi dominan di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno berada pada kisaran 0,7 Hz sampai 9,5 Hz dan nilai faktor amplifikasi berada pada kisaran 1,795 sampai 9,010.
2. Nilai indeks kerentanan seismik berada pada kisaran $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $52,53 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$.
3. Hasil mikrozonasi indeks kerentanan seismik rendah dengan nilai pada kisaran $2,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $8,58 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ menyebar di Desa Joho sebelah timur, Desa Pereng, Desa Ceporan, Desa Gentan, dan Desa Sengon sebelah selatan. Hasil indeks kerentanan seismik sedang dengan nilai pada kisaran $10,27 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ menyebar di Desa Kerten, Desa Kemudo, Desa Geneng, dan bagian selatan dari Desa Kokosan, Desa Randusari, Desa Kebondalem Lor, Desa Muruh dan Desa Jabung serta bagian selatan dari Desa Cucukan dan Desa Kragilan Sementara itu indeks kerentanan seismik relatif tinggi dengan nilai lebih dari $20 \times 10^{-6} \text{ s}^2/\text{cm}$ menyebar di Desa Bugisan, Desa Sawit, Desa Tlogo, Desa Taji, Desa Mutihan, Desa Sanggrahan, Desa Kebondalem Kidul, Desa Cucukan sebelah utara, Desa Jabung sebelah selatan, Desa Mlese, Desa Ngandong, dan Desa

Gesikan. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik sesuai dengan sebaran kerusakan bangunan, di mana persentase kerusakan tertinggi berada pada daerah dengan indeks kerentanan seismik tinggi yang didominasi oleh Formasi Merapi Muda.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk memperbanyak titik lokasi penelitian dengan jarak yang lebih kecil sehingga hasil yang dihasilkan lebih akurat. Untuk pemerintah dan masyarakat diharapkan memperhatikan kualitas struktur bangunan sesuai prediksi tingkat kerusakan bangunan berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik, sehingga dapat meminimalisir terjadinya kerusakan akibat gempabumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriliani, F. 2014. *Analisa Mikrotremor untuk Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kecamatan Pacitan Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- Aisyah, V., Suharna & S., A. 2011. *Ground Amplification Mapping Using HVSR Method in Patuk Gunungkidul Yogyakarta*. Makassar, Proceedings JCM Makassar 2011, The 36th HAGI and 40th IAGI Annual Convention and Exhibition.
- Anant, G., Kulkarni, Qureshi, M. F., Jha, M. 2014. *Discrete Fourier Transform: Approach to Signal Processing*. India: International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 3
- Arai, H and Tokimatsu H. 2004. *S-Wave Velocity Profiling by Microtremor H/V Spectrum*. Amerika: Bulletin of the Seismological of America Vol. 94, No, 1.
- Arifin, S.S., Mulyatno, B.S., Marjiyono, Setianegara, R. 2013. *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*. Lampung: UNILA.
- ASCE. 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10)*. Virginia.
- Aster, R. 2011. *The Seismic Wave Equation*. Socorro: New Mexico Tech.
- BAPPEDA. 2004. *Peta Kabupaten Klaten*. Klaten: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah.
- BAPPEDA. 2006. *Data Kerusakan Bangunan dan Korban Jiwa di Kabupaten Klaten akibat Gempabumi Tektonik 27 Mei 2006*. Klaten: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah.
- BAPPENAS. 2006. *Preliminary Damage and Loss Assesment*. Jakarta: Consultatif Group Indonesia.
- BMKG, 2015. *Indonesia Tsunami Early Warning System- InaTEWS*. Diakses dari http://inatews.bmkg.go.id/new/tentang_eq.php pada tanggal 3 Juni 2017, jam 08:00 WIB.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J., Stevens, W., McCaffrey, R., Surabaya, C., Puntodewo, S., and E, Calais. 2003. *Crustal Motion in Indonesia from*

Global Positioning System Measurement. America: Journal of Geophysical Research Vol. 108 No. B8.

- Bour, M., Fouissac, D., Dorninique, P., and Martin, C. 1998. *On The Use of Microtremor Recording in Seismic Microzonation*. France: Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17 PII: S0267-7261(98)00014-1 Hlm.465-474.
- BPS Klaten. 2015. *Statistik Daerah Kecamatan Gantiwarno*. Klaten: BPS Kabupaten Klaten.
- BPS Klaten. 2016. *Kecamatan Prambanan dalam Angka Tahun 2016*. Klaten: BPS Kabupaten Klaten.
- Cristanto, J. 2011. *Gempabumi, Kerusakan Lingkungan, Kebijakan dan Strategi Pengelolaan*. Yogyakarta: Liberty Yogyakarta.
- Damarla, R & Ufford, D. 2007. *Personel Detection Using Ground Sensors*. US: US Army Research Laboratory.
- Daryono, Sutikno, Prayitni, dan Setio, B. 2009. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daryono. 2010. *Zona Rawan “ Local Site Effect” Gempabumi di Yogyakarta*. Yogyakarta. BMKG
- Daryono. 2013. *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Jurnal Riset Daerah Vol. XII, No. 1. April 2013.
- Elnashai, A., S., & Sarno, L., D. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. UK: John Wiley & Son.
- Fah, D., Kind F., and Giardini, D. 2001. *A Teoritical Investigation of Average H/V Ratio*. Swiss: Geophysical Journal International, 14.
- Hardjono, I. 2006. *Hirarki Gempa Bumi dan Tsunami*. Surakarta: UMS.
- Hidayati, S. 2010. *Pengenalan Seismologi Gunungapi*. Bandung: Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Ibrahim, G., & Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.

- Jogjapro. 2010. *Geologi*. Diakses dari <http://jogjapro. go. id/ pemerintahan/ kalender- kegiatan/ view/ geologi/> pada tanggal 11 April 2017, jam 20:00 WIB.
- Kayal, J R. 2008. *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. India: Capital Publishing Company.
- Kholis, N. 2015. *Karakteristik Mikrotremor di Permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kawasan Karst Gunung Sewu, Berdasarkan Analisis Spektrum Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) dan Time Frequency Analysis (TFA)*. Skripsi: UNY.
- Klaten, Kabupaten. 2016. *Geografi dan Topografi Kabupaten Klaten*. Diakses dari <http://klatenkab. go. id/ geografi- dan- topografi- kabupaten- klaten/> pada tanggal 11 April 2017, jam 19:00 WIB.
- Konno, K., Ohmachi, T. 1998. *Ground Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Microtremor.*, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 88, No 1, 228-241.
- Kusky, T. 2008. *Earthquakes: Plate Tectonics and Earthquake Hazards*. New York: Infobase Publishing.
- Laberta, S., Wibowo, N. G., Darmawan, D. 2013. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional UNY.
- Lyon, D. 2009. *The Discrete Fourier Transform Part 1*. Journal of Object Technology Vol. 8, No. 3.
- Manolakis, D. G., Ingle, Vinay, K. 2011. *Applied Digital Signal Processing Theory and Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Meyers, R A. 2011. *Extreme Environmental Events: Complexcity in Forecasting and Early Warning*. USA: Springer.
- Mirzaoglu, M. And Dykmen, U. 2003. *Application of Microtremor to Seismic Microzoning Procedure*. Balkan: Journal of The Balkan Geoghycal Society Vol. 6 No. 3.
- Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I. and Tabatabei, S.H. 2007. *Seismic Microzonation and Damage Assessment of Bam City*. Southern Iran: Journal of Earthquake Engineering. 11:1, 110-132.

- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.
- Nakamura, Y. 1997. *Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congress on Railway Research.
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique Its Applications*. Japan: System and Data Research.
- Nakamura, Y. 2008. *On the H/V Spectrum*. Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Pasau, T. and Tanauma, A. 2011. *Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi*. Manado: Universitas San Ratulangi Manado, 9511
- Petermans, T., Devleeschouwer, X., Fouriel, F., Rosset, P. 2006. *Mapping The Local Seismic Hazard in The Urban Area of Brussels, Belgium*. London: The Geological Society.
- Philip, S. 2008. *Planet yang Bergolak*. Jakarta: PT Gelora Aksara Pratama.
- Purwanto, A. 2015. *Nalar Ayat-Ayat Semesta*. Bandung. PT Mizan Pustaka.
- Putra, R. C. 2013. *Analisis Frekuensi dan Amplifikasi Mikrotremor dalam Menentukan Tingkat Kerentanan Gempa Bumi di Daerah Candi Prambanan dan Sekitarnya, Kabupaten Klaten, Propinsi Jawa Tengah*. Skripsi. Yogyakarta: UGM.
- Putri, Y. D. A. 2016. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik di Kawasan Jalur Sesar Opak berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- Saputra, S. E. A., Suhaimi, A., Mulyasari, F. 2010. *Makrozonasi dan Mikrozonasi Kerentanan Bencana Gempa Bumi di Wilayah Ende sebagai Data Dasar Perencanaan dan Pengembangan Wilayah*. Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Siswowidjojo, S. S. 1996. *Pengantar Seismologi Gunungapi dan Hubungan dengan Kegiatan Gunungapi*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Sitharam, T. G. 2008. *Seismic Microzonation: Principles, Practices and Experiments*. India: Indian Institute of Science.

- Sudrajat, A. 2016. *Analisis Litologi Lapisan Sedimen berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) dan Data Bor di Kawasan Jalur Sesar Opak*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- Supartoyo, Abdurraman, O., Kurnia, A. 2008. *10 Tahun Gempa Yogyakarta*. Vol. 6 No. 2. Diakses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/10-tahun-gempa-yogyakarta/> pada tanggal 4 Mei 2017, jam 02:15 WIB.
- Roosa, J. 2006. *Pretext for Mass Murder*. London: University of Wisconsin-Madison.
- SESAME. 2004. *Guidelines for The Implementation of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European Research Project.
- Soetoto. 2013. *Geologi Dasar*. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
- Slob, S. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis*. Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- TAIDE, 2010. *TDV-23S Feedback Short-Period Seismometer Operator's Manual*. China: Zhuhai TAIDE Enterprise Co., Ltd.
- Tan, L. 2008. *Digital Signal Processing Fundamentals and Applications*. San Francisco: Elsevier.
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Bandung. Tim Revisi Peta Gempa Indonesia
- UNOSAT. 2006. Preliminary Damage Assessment Java Earthquake. Diakses dari: http://unosat-maps.web.cern.ch/unosat-maps/ID/UNOSAT_Java_EQ_damage30may06_highres.jpeg pada tanggal 25 September 2017 jam 16:41 WIB.
- USGS. 2014. *M6.3 Java Indonesia*. United States: U.S Geological Survey.
- Wahyuningsih, A. 2015. *Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismic di Kawasan Candi Ratu Boko Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: UIN.
- Wang, Z. 2008. *A Technical Note on Seismic Microzonation in The Central United States*. USA: University of Kentucky.

LAMPIRAN 1

DATA HASIL PENELITIAN

Titik	Koordinat		Frekuensi Predominan (Hz)	Faktor Amplifikasi	v_b (m/s)	Indeks Kerentanan Seismik Kg $\times 10^{-6}$ (s^2/m)
	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>				
6	110,5762250	-7,80903800	1,25	6,105	1035,360	29,2086
7	110,5909600	-7,80938000	1,30	6,511	1202,830	27,4972
10	110,5309817	-7,79839833	5,80	7,309	1316,060	7,0983
11	110,5241050	-7,78075167	1,05	2,022	1282,288	3,0798
12	110,5390900	-7,78842667	1,20	3,250	414,450	21,5404
13	110,5517135	-7,78864667	2,40	7,613	1336,850	18,3214
14	110,5762250	-7,78802500	4,85	8,669	1555,080	10,1061
15	110,5973533	-7,79283833	2,30	2,974	1366,990	2,8532
16	110,6112417	-7,78862500	2,90	4,765	1099,350	7,2232
17	110,4885733	-7,76915667	3,75	6,024	1715,130	5,7224
18	110,5064550	-7,76786800	9,50	6,697	1744,533	2,7447
19	110,5230500	-7,77394500	2,80	4,290	1657,843	4,0212
20	110,5398117	-7,77147000	1,20	7,389	893,000	51,6748
21	110,5638433	-7,77114167	1,10	7,641	1038,472	51,8386
22	110,5809833	-7,77356111	2,35	9,010	1480,780	23,6609
25	110,4864050	-7,75467000	1,05	3,448	480,531	23,8982
26	110,5040267	-7,75453167	1,26	4,600	672,985	25,3697
27	110,5246183	-7,75433333	0,80	5,715	1025,067	40,3953
28	110,5401583	-7,75410667	1,30	4,122	1187,303	11,1648
29	110,5603017	-7,75600333	2,00	3,869	1628,280	4,6621
30	110,5759017	-7,75431167	1,05	2,857	1156,840	6,8155
33	110,4859317	-7,73667833	1,05	4,404	1163,800	16,0978
34	110,5045911	-7,73637333	1,00	6,035	703,242	52,5279
35	110,5222867	-7,73673833	1,10	3,128	1051,298	8,5814
36	110,5403867	-7,73635667	0,85	3,347	763,300	17,5121
37	110,5594733	-7,73657333	2,25	2,875	1638,100	2,2745
41	110,4860383	-7,71816833	1,00	4,444	1055,200	18,9825
42	110,5043483	-7,71806333	1,10	3,994	1046,800	14,0508
43	110,5223733	-7,71865330	0,85	1,795	964,586	3,9857
44	110,5396800	-7,71862000	0,70	5,999	1162,641	44,8492

LAMPIRAN 2

ANALISA SESAME DAN KURVA H/V

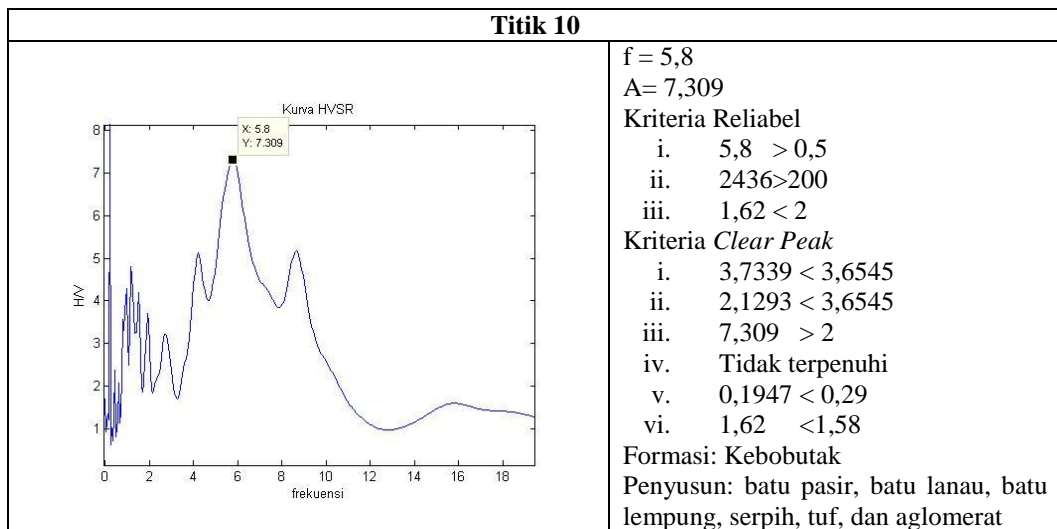
1. Uji Reliabilitas dan *Clear Peak*

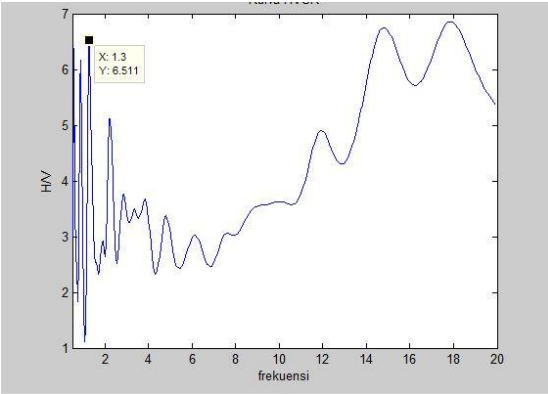
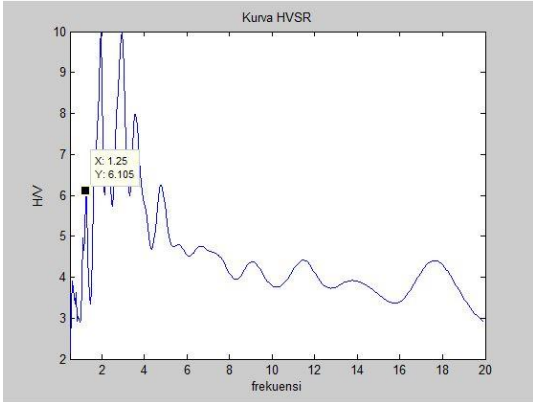
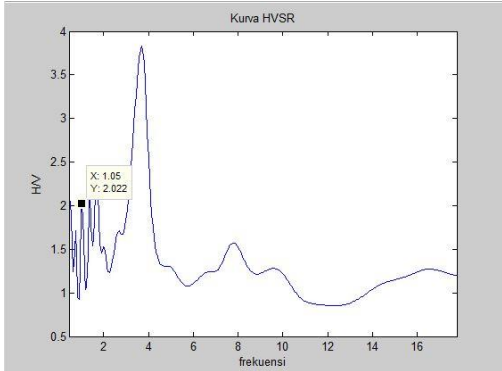
Titik	N_w	f_g	A_g	<i>Criteria for reliable curve</i>			<i>Criteria for a clear H/V peak</i>					
				I	ii	iii	i	ii	iii	iv	v	vi
6	36	1,25	6,105	V	V	V	-	-	V	-	V	V
7	13	1,30	6,511	V	V	V	-	V	V	V	V	V
10	21	5,80	7,309	V	V	V	-	V	V	-	V	-
11	18	1,05	2,022	V	V	V	-	-	V	-	-	V
12	21	1,20	3,250	V	V	V	V	V	V	V	V	V
13	15	2,40	7,613	V	V	V	-	-	V	-	V	V
14	25	4,85	8,669	V	V	V	-	-	V	-	V	V
15	25	2,30	2,974	V	V	-	-	-	V	-	-	V
16	19	2,90	4,765	V	V	V	-	V	V	V	V	V
17	23	3,75	6,024	V	V	V	-	-	V	V	V	V
18	19	9,50	6,697	V	V	V	V	-	V	-	-	V
19	24	2,80	4,290	V	V	V	-	V	V	-	V	V
20	12	1,20	7,389	V	V	V	-	V	V	-	V	V
21	12	1,10	7,641	V	V	V	-	V	V	V	V	-
22	20	2,35	9,010	V	V	-	-	V	V	-	V	-
25	15	1,05	3,448	V	V	V	-	V	V	-	-	V
26	20	1,257	4,600		V	V	-	V	V	-	-	V
27	13	0,80	5,715	V	V	V	-	-	V	-	V	V
28	14	1,30	4,122	V	V	V	-	-	V	-	V	V
29	13	2,00	3,869	V	V	V	-	V	V	-	V	V
30	19	1,05	2,857	V	V	V	-	V	V	-	V	V
33	18	1,05	4,404	V	V	V	V	V	V	-	-	V
34	15	1,00	6,035	V	V	V	-	V	V	-	V	V
35	12	1,10	3,128	V	V	V	-	V	V	V	V	V
36	21	0,85	3,347	V	V	V	-	V	V	V	V	V
37	23	2,25	2,875	V	V	V	-	V	V	V	V	V
41	22	1,00	4,444	V	V	V	-	V	V	-	V	V
42	22	1,10	3,994	V	V	V	-	V	V	-	V	V
43	19	0,85	1,795	V	V	V	-	V	V	-	-	V
44	15	0,70	5,999	V	V	V	-	V	V	-	V	V

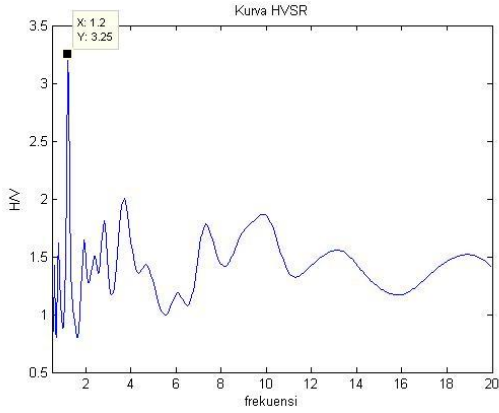
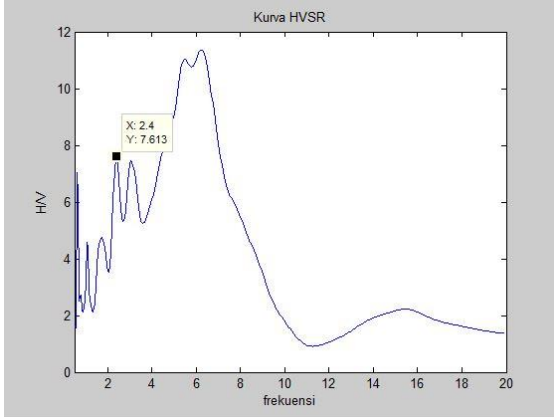
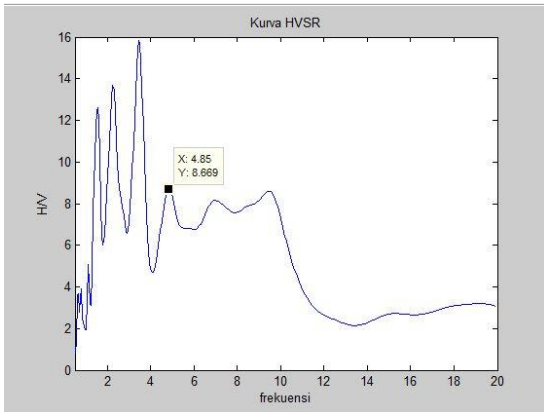
Keterangan Syarat

Criteria for a reliable H/V curve		Criteria for a clear H/V peak	
i)	$f_o > 10/l_w$	i)	$\exists f^- \in [f_o/4, f_o] \mid A_{H/V}(f^-) < A_o/2$
		ii)	$\exists f^+ \in [f_o, 4f_o] \mid A_{H/V}(f^+) < A_o/2$
ii)	$n_c(f_o) > 200$	iii)	$A_o > 2$
		iv)	$f_{peak} [A_{H/V} \pm \sigma_A(f)] = f_o \pm 5\%$
iii)	$\sigma_A(f) < 2$ for $0,5f_o < f < 2f_o$ if $f_o > 0,5$ Hz or $\sigma_A(f) < 2$ for $0,5f_o < f < 2f_o$ if $f_o > 0,5$ Hz	v)	$\sigma_f < \varepsilon(f_o)$
		vi)	$\sigma_A(f_o) < \theta(f_o)$

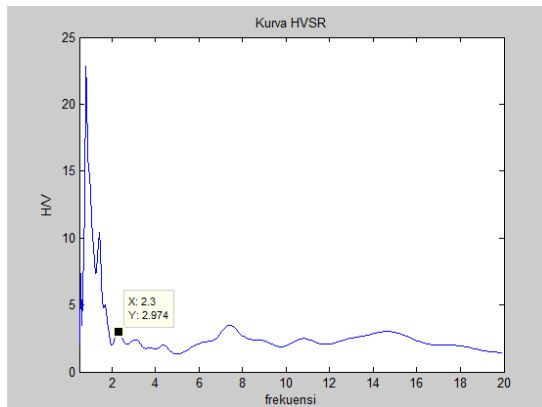
2. Kurva H/V



Titik 7	
	$f_g = 1,3$ $A = 6,511$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> $1,3 > 0,5$ $439,4 > 200$ $1,371185 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> $3,447091 < 3,2555$ $3,239747 < 3,2555$ $6,511 > 2$ Terpenuhi $0,05 < 0,325$ $1,371185 < 3$ Formasi: Kebobutak Penyusun: batu pasir, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf, dan aglomerat
Titik 6	
	$f_g = 1,25$ $A = 6,105$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> $1,25 > 0,5$ $1125 > 200$ $1,928322 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> $4,019639 < 3,0525$ $6,58483 < 3,0525$ $6,105 > 2$ Tidak terpenuhi $0,06455 < 0,3125$ $1,928322 < 3$ Formasi = Kebobutak Penyusun: batu pasir, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf, dan aglomerat
Titik 11	
	$f_g = 1,05$ $A = 2,022$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> $1,05 > 0,5$ $396,9 > 200$ $1,564623 < 2$ Kriteria Clear Peak <ol style="list-style-type: none"> $3,033322 < 1,011$ $5,558224 < 1,011$ $2,022 > 2$ Tidak terpenuhi $- < 0,325$ $1,564623 < 3$ Formasi: Kebobutak Penyusun: batu pasir, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf, dan aglomerat

Titik 12	
	$f_g = 1,2$ $A = 3,25$ Kriteria Reliabel <ul style="list-style-type: none"> i. $1,2 > 0,5$ ii. $504 > 200$ iii. $0,537 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. $1,375 < 1,625$ ii. $1,459 < 1,625$ iii. $3,52 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,035 < 0,12$ vi. $0,537 < 1,78$ Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf
Titik 13	
	$f_g = 2,4$ $A = 7,613$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. $2,4 > 0,5$ ii. $1728 > 200$ iii. $1,635069 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. $4,050709 < 3,8065$ ii. $7,082437 < 3,8065$ iii. $7,613 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,093541 < 0,6$ vi. $1,635069 < 3$ Formasi: Kebobotak Penyusun: batu pasir, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf, dan aglomerat
Titik 14	
	$f_g = 4,8$ $A = 8,669$ Kriteria Reliable <ul style="list-style-type: none"> i. $4,85 > 0,5$ ii. $11761,25 > 200$ iii. $1,891713 < 2$ Kriteria Clear Peak <ul style="list-style-type: none"> i. $8,878764 < 4,3345$ ii. $4,687055 < 4,3345$ iii. $8,669 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,165831 < 1,2125$ vi. $1,891713 < 3$ Formasi: Kebobotak Penyusun: batu pasir, batu lanau, batu lempung, serpih, tuf, dan aglomerat

Titik 15



$$f_g = 2,3$$

$$A = 2,974$$

Kriteria Reliable

- i. $2,3 > 0,5$
- ii. $2645 > 200$
- iii. $2,14615 > 2$

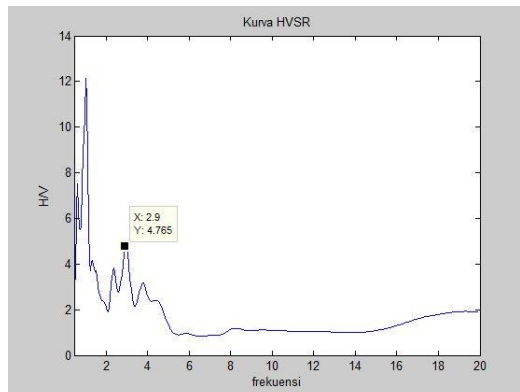
Kriteria *Clear Peak*

- i. $7,45 < 1,487$
- ii. $2,241 < 1,487$
- iii. $2,974 > 2$
- vii. Tidak terpenuhi
- iv. $- < 0,5575$
- v. $2,14615 < 3$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 16



$$f_g = 2,9$$

$$A = 4,765$$

Kriteria Reliable

- i. $2,9 > 0,5$
- ii. $3195,8 > 200$
- iii. $1,002656 < 2$

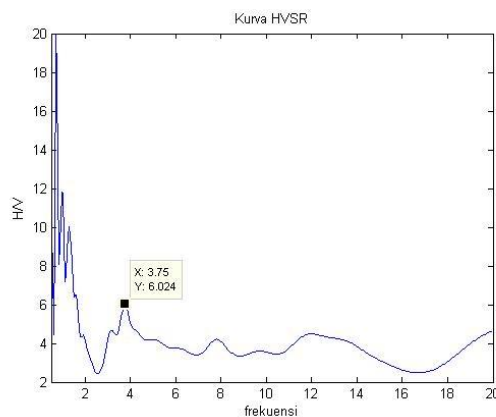
Kriteria *Clear Peak*

- i. $4,227685 < 2,3825$
- ii. $1,418106 < 2,3825$
- iii. $4,765 > 2$
- iv. Terpenuhi
- v. $0,122474 < 0,725$
- vi. $1,002656 < 3$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 17



$$f_g = 3,75$$

$$A = 6,024$$

Kriteria Reliabel

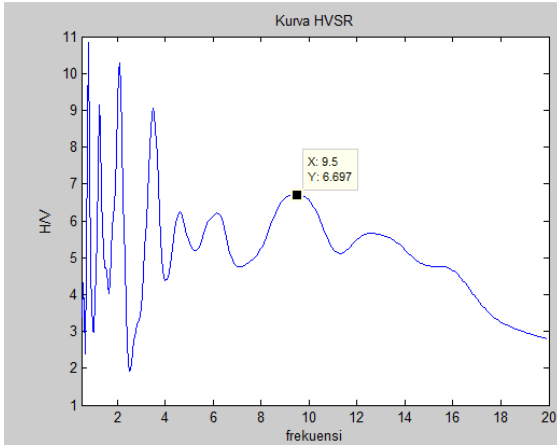
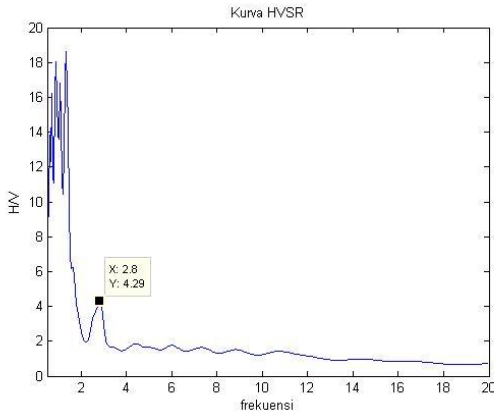
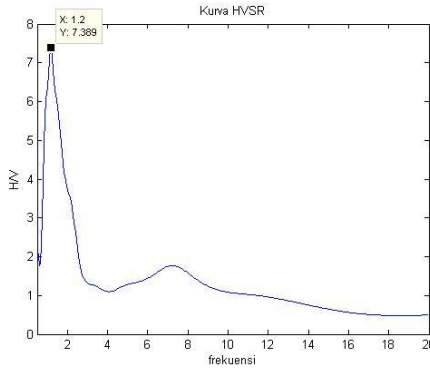
- i. $3,75 > 0,5$
- ii. $1725 > 200$
- iii. $0,7455 < 2$

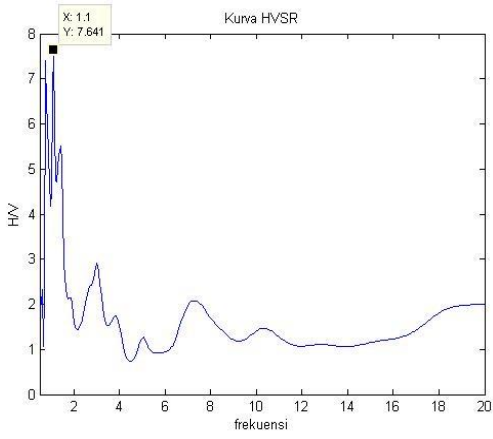
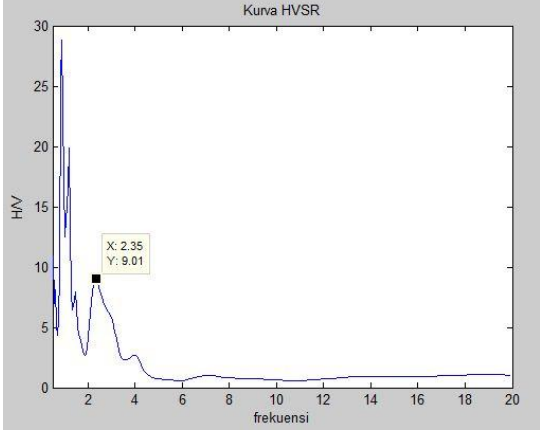
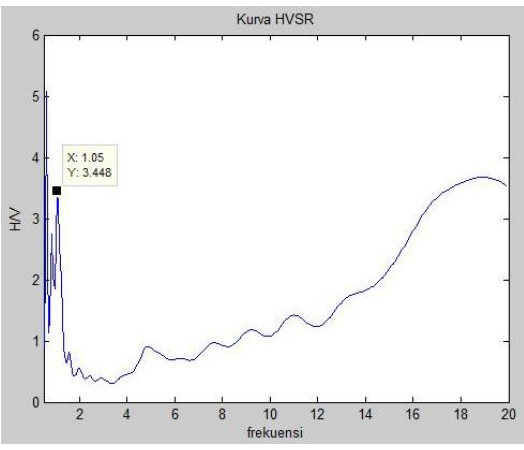
Kriteria *Clear Peak*

- i. $5,22 < 3,012$
- ii. $3,915 < 3,012$
- iii. $6,024 > 2$
- iv. Terpenuhi
- v. $0,1224 < 0,1875$
- vi. $0,7455 < 1,58$

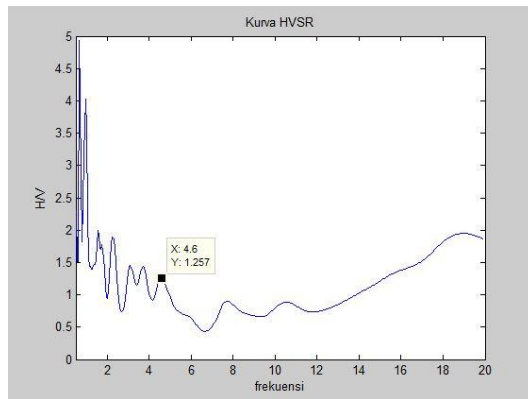
Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 18	
	$f_g = 9,5$ $A = 6,697$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> $9,5 > 0,5$ $34295 > 200$ $0,295772 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $1,671701 < 2,83$ $2,900093 < 2,83$ $6,697 > 2$ Tidak terpenuhi $- < 2,375$ $0,295772 < 3$ Formasi: Semilir Penyusun: dari tuf, breksi, batu apung dasitan, batu pasir tufaan
Titik 19	
	$f_g = 2,8$ $A = 4,29$ Kriteria Reliable <ol style="list-style-type: none"> $2,8 > 0,5$ $1344 > 200$ $1,974144377 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $7,575729 < 2,145$ $1,582833 < 2,145$ $4,29 > 2$ Tidak terpenuhi $0,108012 < 0,7$ $1,974144377 < 3$ Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf
Titik 20	
	$f_g = 1,2$ $A = 7,389$ Kriteria Reliabel <ol style="list-style-type: none"> $1,2 > 0,5$ $288 > 200$ $1,638 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> <ol style="list-style-type: none"> $4,016 < 3,6945$ $2,4805 < 3,6945$ $7,389 > 2$ Tidak terpenuhi $0,05 < 0,12$ $1,638 < 1,78$ Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 21	
 <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 1.1 Y: 7.641</p>	<p>$f_g = 1,1$ $A = 7,641$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,1 > 0,5$ $264 > 200$ $1,975 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $4,885 < 3,8205$ $2,3242 < 3,8205$ $7,641 > 2$ Terpenuhi $0,05 < 0,11$ $1,975 < 1,78$ <p>Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf</p>
Titik 22	
 <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 2.35 Y: 9.01</p>	<p>$f_g = 2,35$ $A = 9,01$</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> $2,35 > 0,5$ $945 > 200$ $3,2135 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $8,94117 < 4,505$ $1,81036 < 4,505$ $9,01 > 2$ Tidak terpenuhi $0,07905 < 0,1175$ $3,2135 < 1,58$ <p>Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf</p>
Titik 25	
 <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 1.05 Y: 3.448</p>	<p>$f_g = 1,05$ $A = 3,448$</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,05 > 0,5$ $330,75 > 200$ $1,007358 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,084033 < 1,724$ $0,637603 < 1,724$ $3,448 > 2$ Tidak terpenuhi $< 0,7$ $1,007358 < 3$ <p>Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf</p>

Titik 26



$$f_g = 1,257$$

$$A = 4,6$$

Kriteria Reliable

- $1,257 > 0,5$
- $632,0196 > 200$
- $0,90203 < 2$

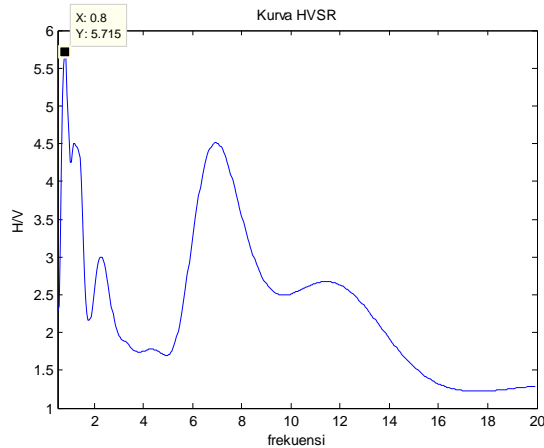
Kriteria *Clear Peak*

- $2,440779 < 2,3$
- $1,264535 < 2,3$
- $4,6 > 2$
- Tidak terpenuhi
- $- < 0,7$
- $0,90203 < 3$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 27



$$f_g = 0,8$$

$$A = 5,715$$

Kriteria Reliabel

- $0,8 > 0,5$
- $208 > 200$
- $0,98165 < 2$

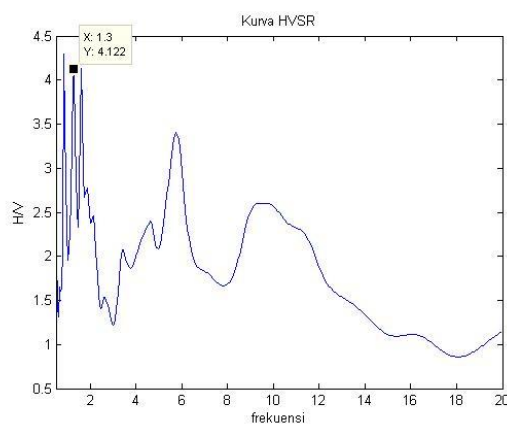
Kriteria *Clear Peak*

- $5,682427 < 2,8575$
- $3,0934 < 2,8575$
- $5,715 > 2$
- Tidak terpenuhi
- $0,05 < 0,12$
- $0,98165 < 2$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 28



$$f_g = 1,3$$

$$A = 4,122$$

Kriteria Reliabel

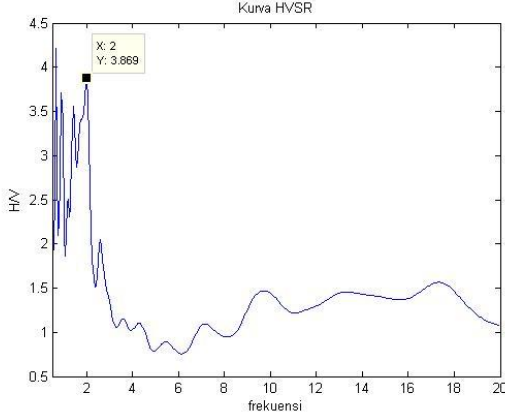
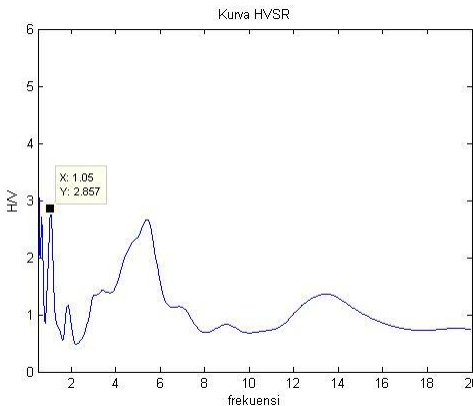
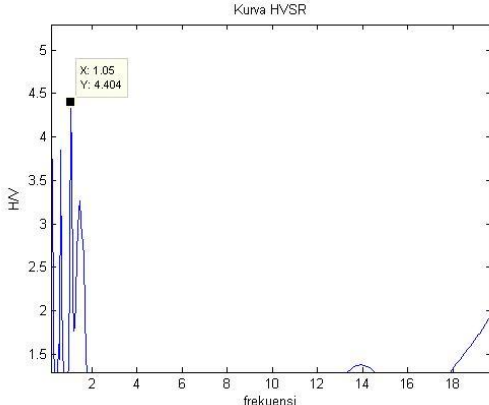
- $1,3 > 0,5$
- $364 > 200$
- $0,815 < 2$

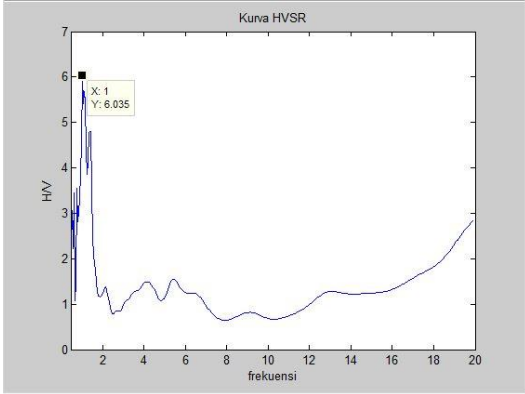
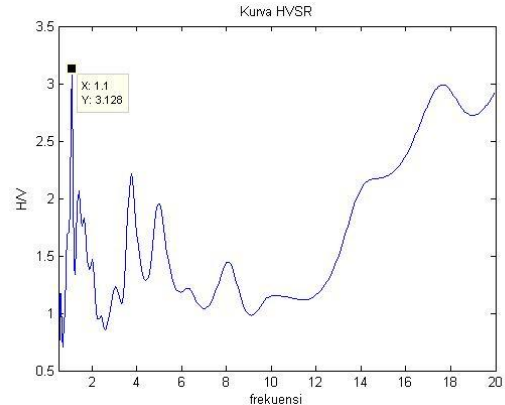
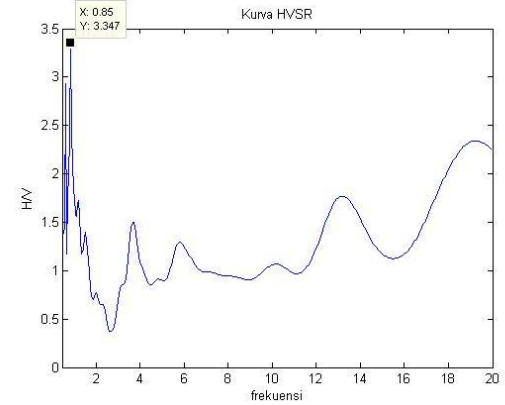
Kriteria *Clear Peak*

- $2,940 < 2,061$
- $2,132 < 2,061$
- $4,122 > 2$
- Tidak terpenuhi
- $0,05 < 0,13$
- $0,815 < 1,78$

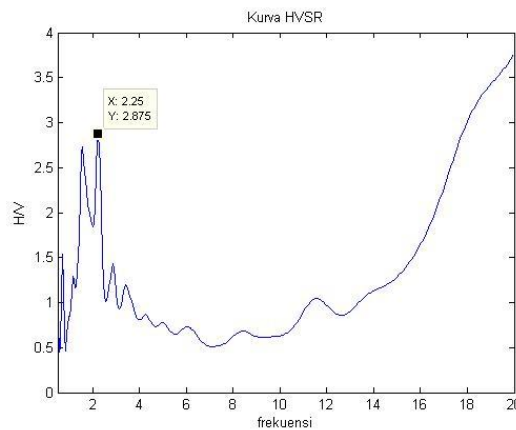
Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 29	
 <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 2 Y: 3.869</p>	<p>$f_g = 2$ $A = 3,869$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $2 > 0,5$ $520 > 200$ $0,922 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,93 < 1,9345$ $1,1448 < 1,9345$ $3,869 > 2$ Tidak terpenuhi $0,079 < 0,2$ $0,922 < 1,78$ <p>Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf</p>
Titik 30	
 <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 1.05 Y: 2.857</p>	<p>$f_g = 1,05$ $A = 2,857$</p> <p>Kriteria Reliabel</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,05 > 0,5$ $399 > 200$ $0,7436 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $2,265 < 1,4285$ $1,142 < 1,4285$ $2,857 > 2$ Tidak terpenuhi $0,05 < 0,105$ $0,7436 < 1,78$ <p>Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf</p>
Titik 33	
 <p>Kurva HVSr</p> <p>X: 1.05 Y: 4.404</p>	<p>$f_g = 1,05$ $A = 4,404$</p> <p>Kriteria Reliable</p> <ol style="list-style-type: none"> $1,05 > 0,5$ $378 > 200$ $1,038283199 < 2$ <p>Kriteria <i>Clear Peak</i></p> <ol style="list-style-type: none"> $1,8852515 < 2,202$ $1,151692 < 2,202$ $4,404 > 2$ Tidak terpenuhi $- < 0,7$ $1,038283199 < 3$ <p>Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf</p>

Titik 34	
	$f_g = 1$ $A = 6,035$ Kriteria Reliable i. $1 > 0,5$ ii. $300 > 200$ iii. $1,572378 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $3,19095 < 3,0175$ ii. $1,794373 < 3,0175$ iii. $6,035 > 2$ iv. Tidak terpenuhi v. $0,05 < 0,25$ vi. $1,572378 < 3$ Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf
Titik 35	
	$f_g = 1,1$ $A = 3,128$ Kriteria Reliabel i. $1,1 > 0,5$ ii. $264 > 200$ iii. $0,517 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $1,6879 < 1,564$ ii. $1,4444 < 1,564$ iii. $3,128 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,0353 < 0,11$ vi. $0,517 < 1,78$ Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf
Titik 36	
	$f_g = 0,85$ $A = 3,347$ Kriteria Reliabel i. $0,85 > 0,5$ ii. $357 > 200$ iii. $0,595 < 2$ Kriteria <i>Clear Peak</i> i. $2,465 < 1,6735$ ii. $0,9804 < 1,6735$ iii. $3,347 > 2$ iv. Terpenuhi v. $0,035 < 0,1275$ vi. $0,595 < 2$ Formasi: Gunungapi Merapi Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 37



$$f_g = 2,25$$

$$A = 2,875$$

Kriteria Reliabel

- $2,25 > 0,5$
- $1035 > 200$
- $0,606 < 2$

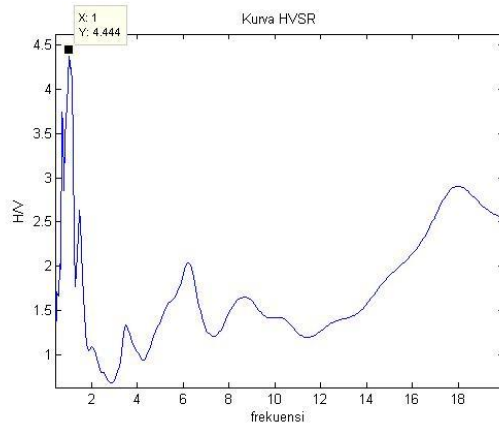
Kriteria Clear Peak

- $1,6397 < 1,4375$
- $0,8055 < 1,4375$
- $2,875 > 2$
- Terpenuhi
- $0,0645 < 0,1125$
- $0,606 < 1,58$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 41



$$f_g = 1$$

$$A = 4,444$$

Kriteria Reliabel

- $1 > 0,5$
- $440 > 200$
- $1,115 < 2$

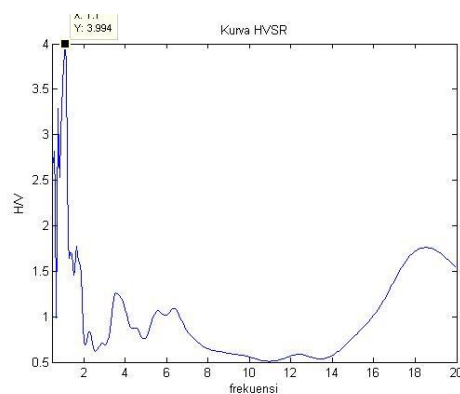
Kriteria Clear Peak

- $6,457 < 2,222$
- $1,4087 < 2,222$
- $4,444 > 2$
- Tidak terpenuhi
- $0,05 < 0,1$
- $1,115 < 1,78$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 42



$$f_g = 1,1$$

$$A = 3,994$$

Kriteria Reliabel

- $1,1 > 0,5$
- $440 > 200$
- $1,115 < 2$

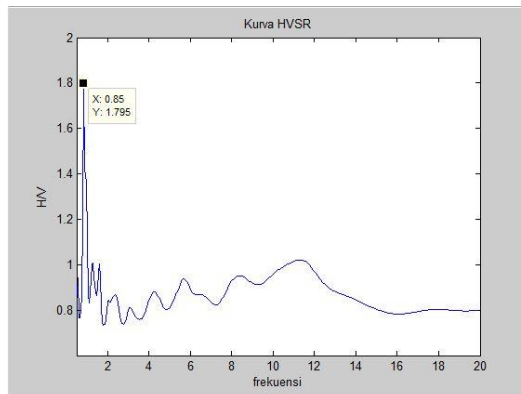
Kriteria Clear Peak

- $2,7698 < 1,997$
- $1,1511 < 1,997$
- $3,994 > 2$
- Tidak terpenuhi
- $0,05 < 0,11$
- $1,115 < 1,78$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 43



$$f_g = 0,85$$

$$A = 1,795$$

Kriteria Reliable

- i. $0,85 > 0,5$
- ii. $274,55 > 200$
- iii. $0,300527 < 2$

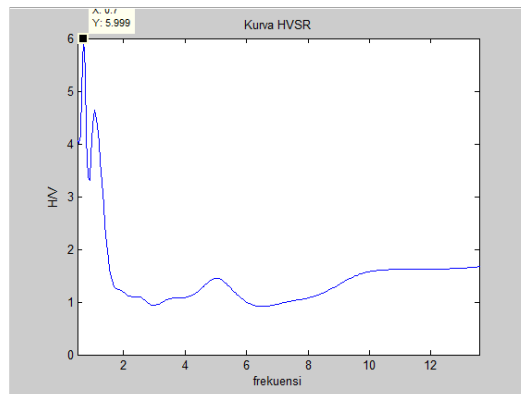
Kriteria *Clear Peak*

- i. $1,158861 < 0,8975$
- ii. $0,876364 < 0,8975$
- iii. $1,795 > 2$
- iv. Tidak terpenuhi
- v. $- < 0,7$
- vi. $0,300527 < 3$

Formasi: Gunungapi Merapi

Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

Titik 44



$$f_g = 0,7$$

$$A = 5,999$$

Kriteria Reliabel

- i. $0,7 > 0,5$
- ii. $245 > 200$
- iii. $0,967685 < 2$

Kriteria *Clear Peak*

- i. $3,846176 < 2,995$
- ii. $2,198323 < 2,995$
- iii. $5,99 > 2$
- iv. Tidak terpenuhi
- v. $0,05 < 0,175$
- vi. $0,967685 < 3$

Formasi: Gunungapi Merapi

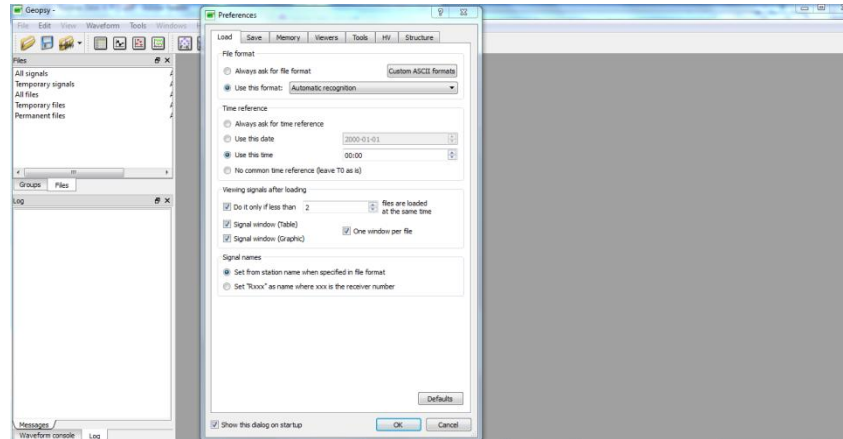
Penyusun: breksi vulkan, lava, dan tuf

LAMPIRAN 3

PENGOLAHAN DATA

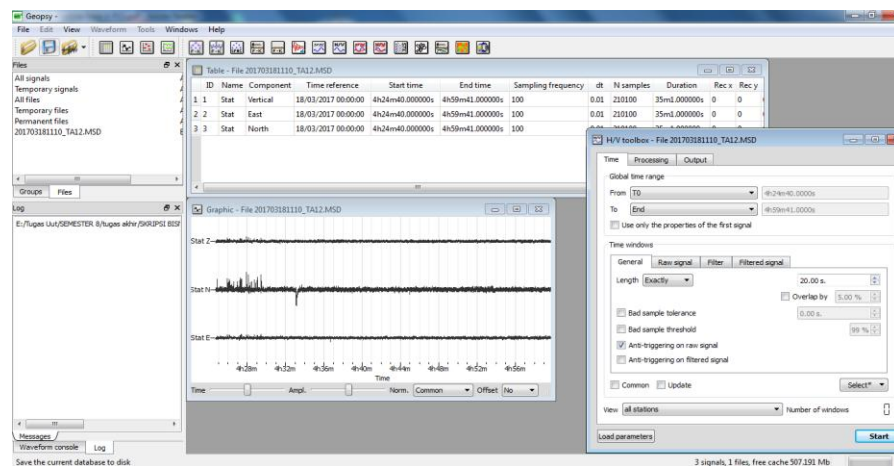
A. Analisis Data Mikrotremor menggunakan *software* Sessary-Geopsy

1. Buka software Sessary-Geopsy, akan muncul tampilan sebagai berikut



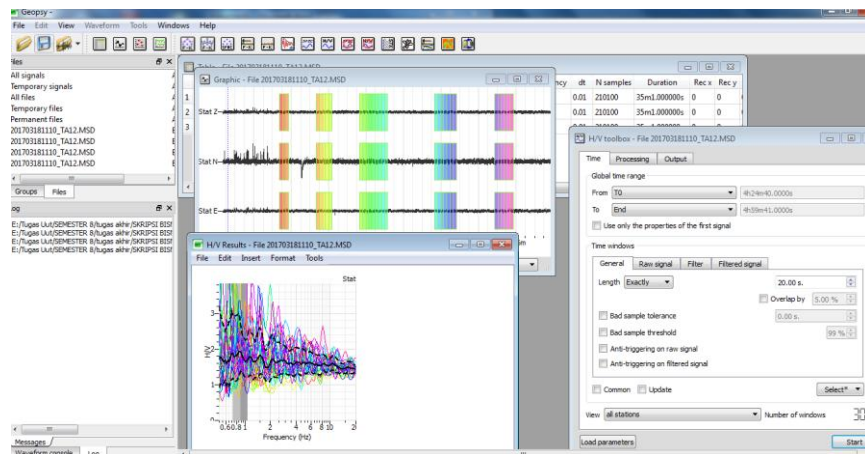
Gambar L1. Tampilan Awal software Sessary-Geopsy

2. Klik oke pada *Preferences*. Kemudian klik *import signals* dan pilih data pengukuran yang akan dianalisis. Data pengukuran dalam format MINI SEED (msd).
3. Klik H/V pada *toolbox software*, maka akan muncul tampilan berikut



Gambar L2. Contoh rekaman data mikrotremor 3 komponen

4. Klik *H/V toolbox*, kemudian *setting* nilai *Time*, *Processing*, dan *Output* dengan:
 - a. Pada pengaturan *Processing*, *setting smoothing type* dengan Konno & Omachi
 - b. Pada pengaturan *Output*, *setting* nilai *Frequency sampling* 0.50 Hz sampai 20 Hz dengan *Number of samples* 100.
 - c. Pada pengaturan *Time*, *setting* nilai *length windows* dengan 20.00 s. kemudian hilangkan centang pada *Anti-triggering on raw sinyal* dan klik *add* pada menu *select* untuk memilih sinyal tanpa *noise* secara manual. Selanjutnya klik *start*.



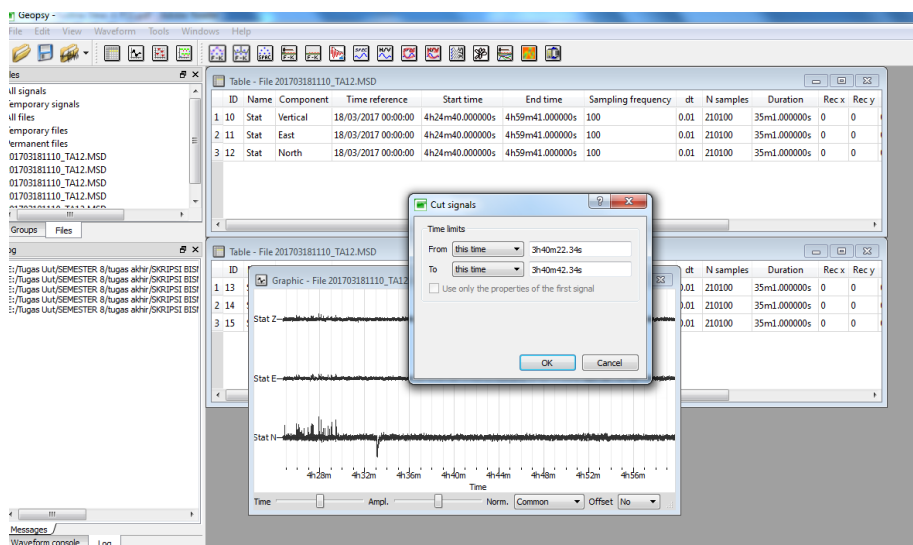
Gambar L3. Pemilihan sinyal tanpa *noise*

5. Kemudian simpan kurva H/V dengan klik *Tools* pada *toolbar*, kemudian pilih *Save result* dan *choose*. Selanjutnya pilih *load result* untuk menampilkan kurva. Kurva akan tersimpan dalam format hv.
6. Catat waktu setiap window pada sinyal yang dipilih untuk proses *cutting*.
7. Untuk melihat nilai dari kurva H/V maka kurva dalam format hv dapat dibuka di *software Microsoft Excel*.

#	GEOPSY output	version																
1	Number of windows	=	21															
2	f0 from average		1.2692															
3	Number of windows for	f0	=	21														
4	f0 from windows		1.24576	0.992618	1.49891													
5	Frequency	Average	Min	Max														
6	0.5	1.24677	0.617982	2.51533														
7	0.518982	1.452	0.831849	2.53447														
8	0.538685	1.58974	1.00445	2.51608														
9	0.559136	1.64131	1.12439	2.39589														
10	0.580363	1.63166	1.17645	2.26299														
11	0.602396	1.58781	1.09184	2.30908														
12	0.625266	1.75507	1.16635	2.64094														
13	0.649003	1.82885	1.05963	3.15647														
14	0.673642	1.83704	1.13736	2.96714														
15	0.699217	1.76161	1.08706	2.85474														
16	0.725762	1.74301	1.10358	2.75291														
17	0.753315	1.68509	1.0213	2.78032														
18	0.781914	1.73387	1.12703	2.66746														
19	0.811599	1.74062	1.15263	2.62855														
20	0.842411	1.73968	1.1495	2.63285														
21	0.874392	1.74805	1.15263	2.65106														
22	0.907588	1.73309	1.12744	2.6641														
23	0.942044	1.72326	1.15582	2.56928														
24	0.977808	1.71522	1.20081	2.44998														

Gambar L4. Tampilan file format .hv pada *software Microsoft Excel*

8. Untuk proses *cutting*, klik *waveform* pada *toolbar*. Kemudian pilih *cut* dan masukkan waktu *window* yang akan *dicutting*.

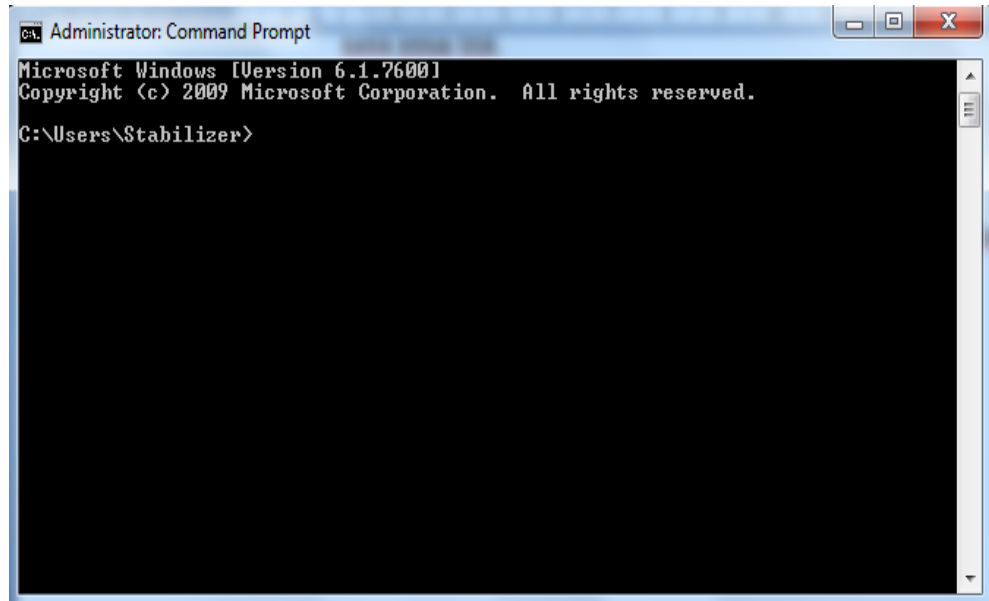


Gambar L5. Tampilan proses *cutting*

9. Klik *File toolbar* dan pilih *export signals*. Kemudian atur tipe file dengan *Ascii multi columns (no header)*. Selanjutnya klik *ok* dan simpan dengan nama sesuai titik.

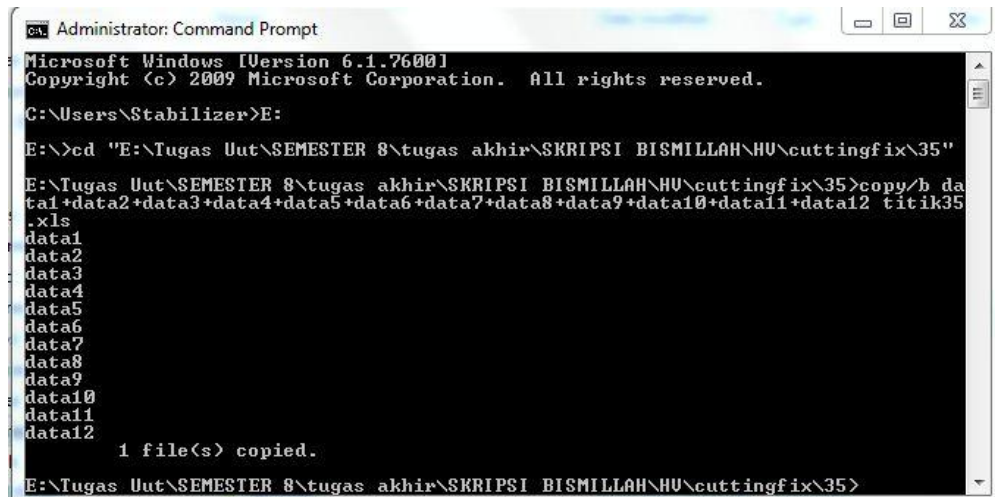
B. Penggabungan Sinyal Hasil *Cutting* menggunakan *Command prompt*

1. Buka *Command Prompt*, maka akan muncul tampilan sebagai berikut



Gambar L5. Tampilan awal *software Command Prompt*

2. Masukkan nama folder penyimpanan file hasil cutting dengan format “cd nama”, kemudian tekan *enter*.
3. Masukkan name *file* hasil dengan format “*copy/b<spasi>nama file<spasi>nama file baru (nama untuk data sinyal yang sudah digabungkan)*”, kemudian tekan *enter*. Data sinyal yang sudah digabungkan akan disimpan secara otomatis pada folder hasil *cutting*.



```

Administrator: Command Prompt
Microsoft Windows [Version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Stabilizer>E:

E:\>cd "E:\Tugas Uut\SEMESTER 8\tugas akhir\SKRIPSI BISMILLAH\HU\cuttingfix\35"

E:\Tugas Uut\SEMESTER 8\tugas akhir\SKRIPSI BISMILLAH\HU\cuttingfix\35>copy/b da
tai+data2+data3+data4+data5+data6+data7+data8+data9+data10+data11+data12 titik35
.xls
data1
data2
data3
data4
data5
data6
data7
data8
data9
data10
data11
data12
1 file(s) copied.

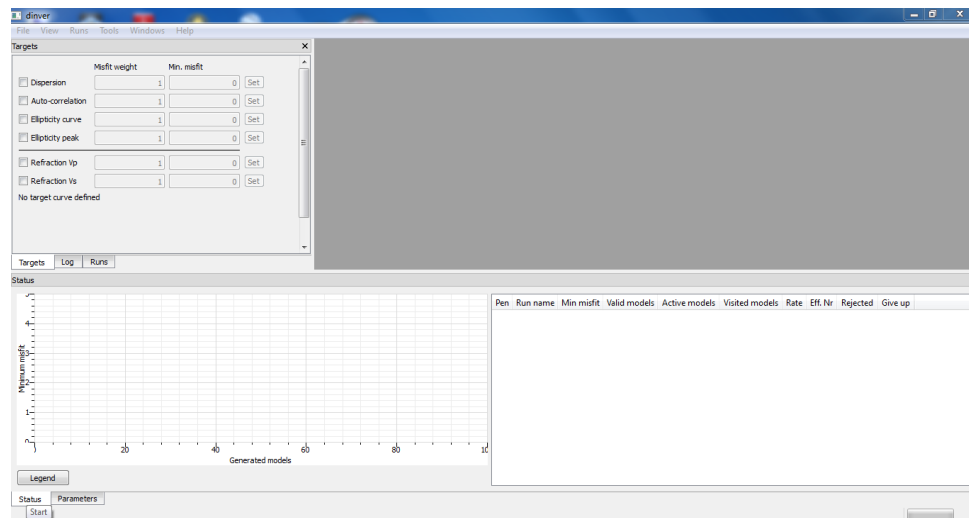
E:\Tugas Uut\SEMESTER 8\tugas akhir\SKRIPSI BISMILLAH\HU\cuttingfix\35>

```

Gambar L6. Tampilan proses penggabungan data hasil *cutting* pada *software Command Prompt*

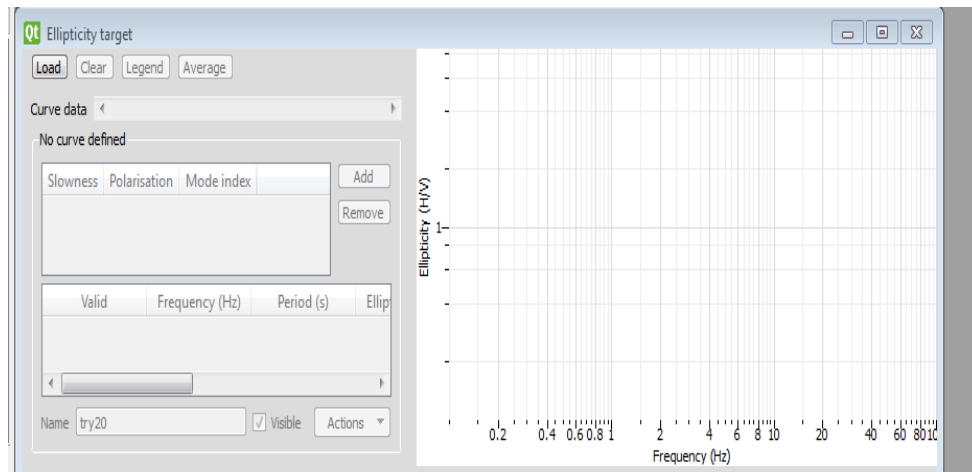
C. Penentuan nilai V_b

1. Membuka *software Dinver*



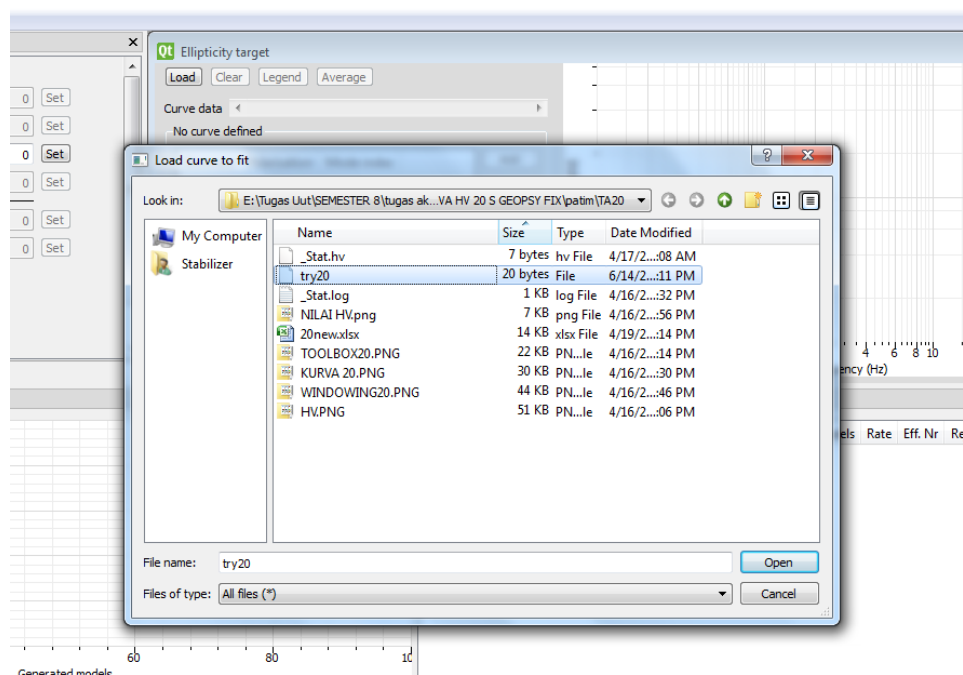
Gambar L7. Tampilan awal *software Dinver*

2. Pada Target pilih *Ellipticity curve* dan klik *set*. Kemudian akan muncul *Ellipticity target* untuk memasukkan data yang akan ditentukan nilai V_b nya.



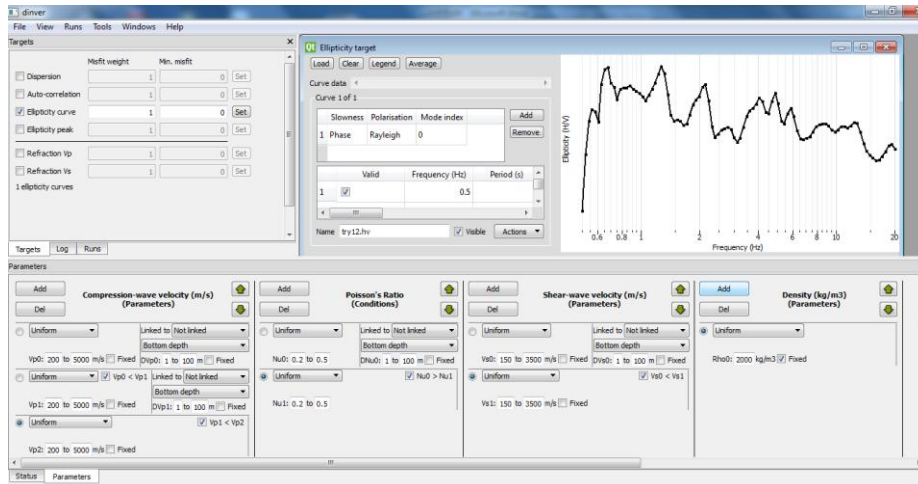
Gambar L8. Tampilan *Ellipticity Target*

3. Klik *Load* maka akan muncul tampilan *Load curve to fit*. Kemudian pilih data dan klik *open*. Kemudian akan muncul data berupa kurva hv



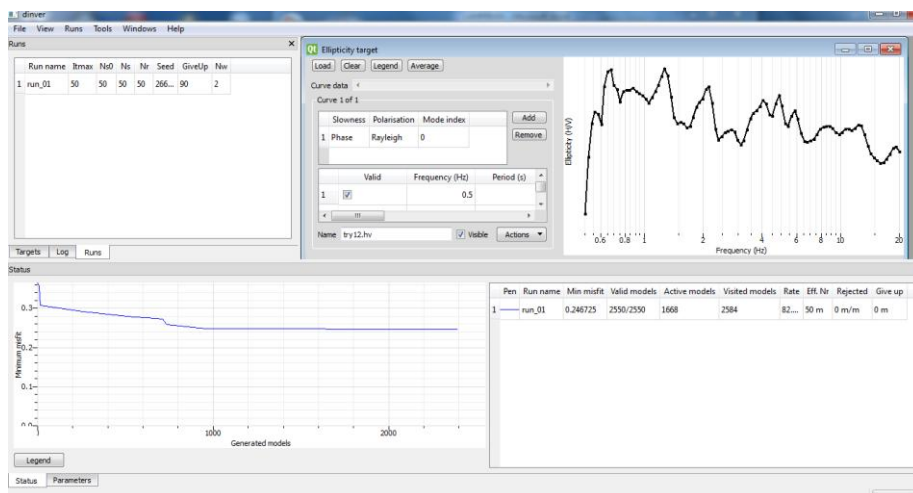
Gambar L9. Tampilan *Load curve to fit*

4. Kemudian isi parameter sesuai dengan kondisi litologi setiap daerah penelitian



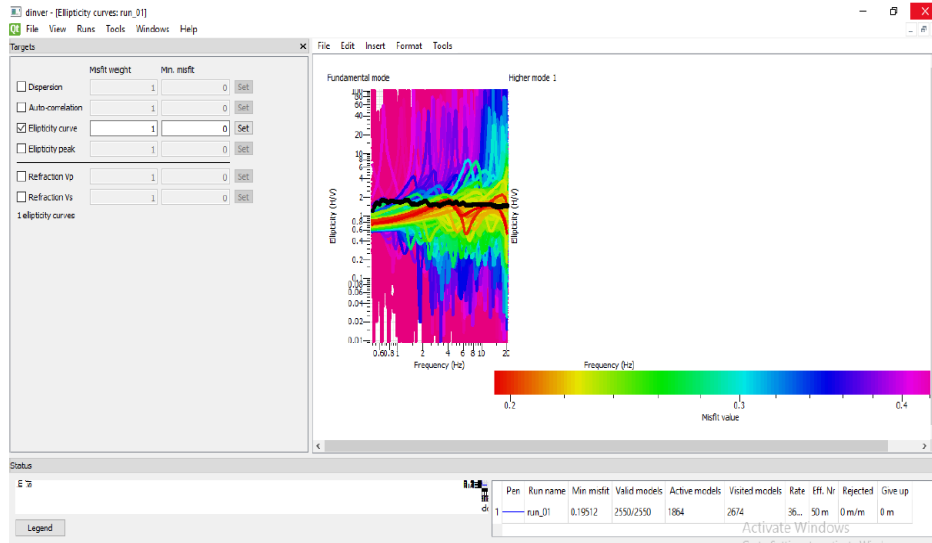
Gambar L10. Tampilan parameter pada *ellipticity curve*

- Kemudian pilih *Run* pada toolbar dan klik *add*. Selanjutnya pilih *Run* dan klik *start*. Klik *status* untuk melihat proses berjalan.



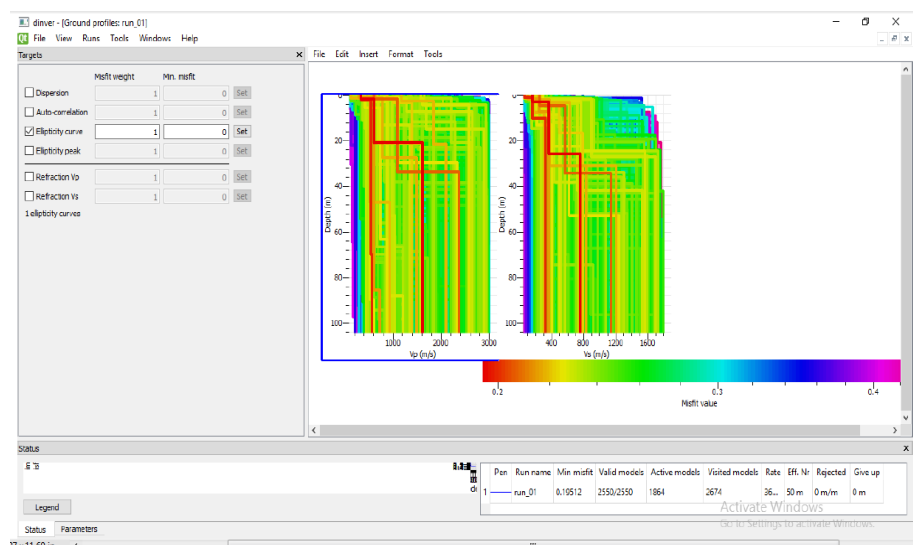
Gambar L11. Tampilan *Runs* pada status kurva

- Setelah proses selesai, klik *View* dan pilih *Ellipticity* maka akan muncul tampilan sebagai berikut.



Gambar L12. Tampilan hasil *ellipticity curve*

7. Klik *view* pada *toolbar* dan pilih *ground profiles* untuk menampilkan grafik nilai V_s dan V_b . Kemudian simpan pemodelan *ground profiles* dan *ellipticity curve* dalam format png.



Gambar L13. Tampilan hasil *Ground profiles*

LAMPIRAN 4

PROGRAM MATLAB

A. Program Analisis Spektrum Fourier

```
clc; clear all;clf;
%=====Komponen
E=====
x=xlsread('E.xlsX');
P=2000; %panjang window

PW=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20]; %Matriks potongan data
window
jumlah_window=length(PW);

for i=1:length(PW);
    s=0;
    W=x((PW(i)*P)+1:(PW(i)+1)*P);
    [hasil_fft]=fft_64(W);
    s = s + hasil_fft;
end

S=s/jumlah_window;

fs=100;
N=length(W);
k=0:1:(N-1);
fx=(fs/N)*k';

f=fx'
St=S';

%===== Smoothingnya=====
b=40;
[S1]=smooth_spektrum(St,f,b);

S1t=S1'

%=====Plotnya=====
%plot(f(1:400),St(1:400),'b'); hold on;
plot(f(1:400),S1(1:400),'r');
```

B. Program FFT

```

function [hasil]=fft_64(W)
    %W adalah sinyal input
    N=length(W); %Jumlah data sinyal
    r=64; %radix 64
    k=0:(N/r)-1;
    n=0:N-1;

    %=====FFT RADIX 64=====

    d1=exp(-1i*2*pi*n*(k*r)/N)*W(r*k+1)';
    d2=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+1)/N)*W(r*k+2)';
    d3=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+2)/N)*W(r*k+3)';
    d4=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+3)/N)*W(r*k+4)';
    d5=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+4)/N)*W(r*k+5)';
    d6=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+5)/N)*W(r*k+6)';
    d7=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+6)/N)*W(r*k+7)';
    d8=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+7)/N)*W(r*k+8)';
    d9=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+8)/N)*W(r*k+9)';
    d10=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+9)/N)*W(r*k+10)';
    d11=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+10)/N)*W(r*k+11)';
    d12=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+11)/N)*W(r*k+12)';
    d13=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+12)/N)*W(r*k+13)';
    d14=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+13)/N)*W(r*k+14)';
    d15=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+14)/N)*W(r*k+15)';
    d16=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+15)/N)*W(r*k+16)';
    d17=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+16)/N)*W(r*k+17)';
    d18=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+17)/N)*W(r*k+18)';
    d19=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+18)/N)*W(r*k+19)';
    d20=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+19)/N)*W(r*k+20)';
    d21=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+20)/N)*W(r*k+21)';
    d22=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+21)/N)*W(r*k+22)';
    d23=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+22)/N)*W(r*k+23)';
    d24=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+23)/N)*W(r*k+24)';
    d25=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+24)/N)*W(r*k+25)';
    d26=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+25)/N)*W(r*k+26)';
    d27=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+26)/N)*W(r*k+27)';
    d28=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+27)/N)*W(r*k+28)';
    d29=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+28)/N)*W(r*k+29)';
    d30=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+29)/N)*W(r*k+30)';
    d31=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+30)/N)*W(r*k+31)';
    d32=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+31)/N)*W(r*k+32)';
    d33=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+32)/N)*W(r*k+33)';
    d34=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+33)/N)*W(r*k+34)';
    d35=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+34)/N)*W(r*k+35)';
    d36=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+35)/N)*W(r*k+36)';
    d37=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+36)/N)*W(r*k+37)';
    d38=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+37)/N)*W(r*k+38)';
    d39=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+38)/N)*W(r*k+39)';
    d40=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+39)/N)*W(r*k+40)';
    d41=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+40)/N)*W(r*k+41)';

```

```

d42=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+41)/N)*W(r*k+42);
d43=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+42)/N)*W(r*k+43);
d44=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+43)/N)*W(r*k+44);
d45=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+44)/N)*W(r*k+45);
d46=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+45)/N)*W(r*k+46);
d47=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+46)/N)*W(r*k+47);
d48=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+47)/N)*W(r*k+48);
d49=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+48)/N)*W(r*k+49);
d50=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+49)/N)*W(r*k+50);
d51=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+50)/N)*W(r*k+51);
d52=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+51)/N)*W(r*k+52);
d53=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+52)/N)*W(r*k+53);
d54=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+53)/N)*W(r*k+54);
d55=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+54)/N)*W(r*k+55);
d56=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+55)/N)*W(r*k+56);
d57=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+56)/N)*W(r*k+57);
d58=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+57)/N)*W(r*k+58);
d59=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+58)/N)*W(r*k+59);
d60=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+59)/N)*W(r*k+60);
d61=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+60)/N)*W(r*k+61);
d62=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+61)/N)*W(r*k+62);
d63=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+62)/N)*W(r*k+63);
d64=exp(-1i*2*pi*n*(k*r+63)/N)*W(r*k+64);

```

```

d=d1+d2+d3+d4+d5+d6+d7+d8+d9+d10+d11+d12+d13+d14+d15+d16+d17+d18+d19+
d20+d21+d22+d23+d24+d25+d26+d27+d28+d29+d30+d31+d32+d33+d34+d35+d36+d
37+d38+d39+d40+d41+d42+d43+d44+d45+d46+d47+d48+d49+d50+d51+d52+d53+d5
4+d55+d56+d57+d58+d59+d60+d61+d62+d63+d64;

```

```

hasil=abs(2*d/N);

```

```

end

```

C. Program HVSR

```

clc; clear all;clf;

```

```

x=xlsread('HVSr_P.xlsx');

```

```

fs=100;
N=length(x);
k=0:1:(N-1);
f=(fs/N)*k';

```

```

plot(f(1:400),x(1:400));
title('Kurva HVSR');
xlabel('frekuensi'); ylabel('H/V');
xlim([0.5 20])

```


D. Program Smoothing Konno- Omachi

```
function [spektrum_baru]=smooth_spektrum(S,f,b)
[smooth_matrix]=hitung_smoothing_matrix(f,b);
spektrum_baru=S*smooth_matrix;
end

function [smooth_window]=konno_ohmachi_smoothing_window(f,f_c,b)
    %f == matrix frekuensi
    %fc == center frequency
    %b == konno-ohmachi bandwidth
    l=length(f);
    %apabila f_c=0 buat matriks 0 sepanjang l, kecuali suku pertama yg
    %bernilai 1
    if f_c==0
        smooth_window=zeros(1,l);
        smooth_window(1)=1;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    else
        smooth_window=(sin(b*log10(f./f_c))./(b*log10(f./f_c))).^4;
        %mengganti inf dengan 1
        posisi_fc= f==f_c;
        smooth_window(posisi_fc)=1;
        %mengganti NaN dengan 0
        posisi_NaN= isnan(smooth_window);
        smooth_window(posisi_NaN)=0;
        smooth_window=smooth_window/sum(smooth_window);
    end
end
```

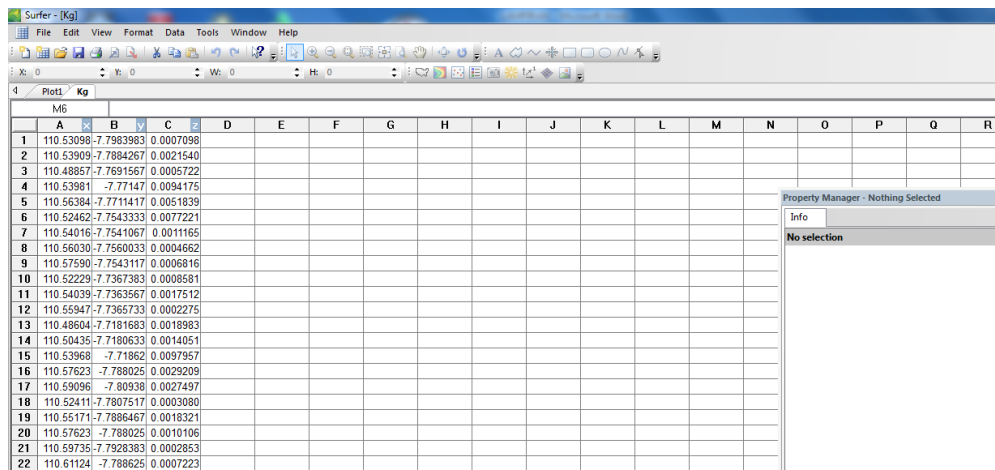
Program MATLAB yang digunakan merujuk pada penelitian Kholis (2015).

LAMPIRAN 5

MIKROZONASI HASIL PENELITIAN

A. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik

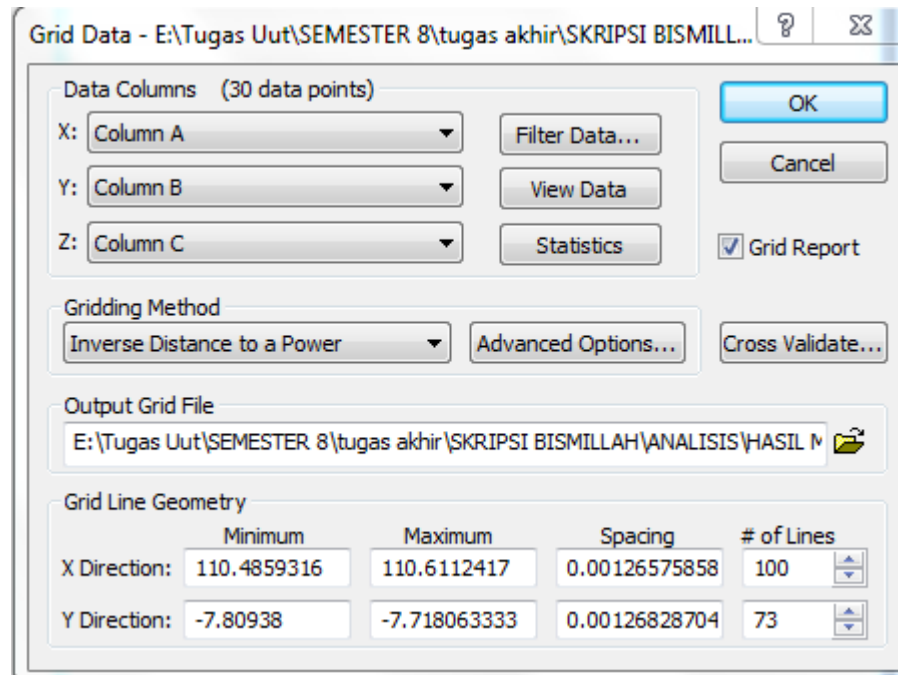
1. Buka *software Surfer-10*, kemudian pilih *New worksheet*. Masukkan nilai koordinat *longitude* pada kolom A, koordinat *latitude* pada kolom B, dan nilai Indeks kerentanan seismik pada kolom C. kemudian simpan dalam format TXT.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	110.53098	-7.7983983	0.0007098															
2	110.53909	-7.7884267	0.0021540															
3	110.48857	-7.7691567	0.0005722															
4	110.53981	-7.77147	0.0094175															
5	110.56384	-7.7711417	0.0051839															
6	110.52462	-7.7543333	0.0077221															
7	110.54016	-7.7541067	0.0011165															
8	110.56030	-7.7560033	0.0004662															
9	110.57590	-7.7543117	0.0006816															
10	110.52229	-7.7367383	0.0008581															
11	110.54039	-7.7363567	0.0017512															
12	110.55947	-7.7365733	0.0002275															
13	110.48604	-7.7181683	0.0018983															
14	110.50435	-7.7180633	0.0014051															
15	110.53968	-7.71862	0.0097957															
16	110.57623	-7.788025	0.0029209															
17	110.59096	-7.80938	0.0027497															
18	110.52411	-7.7807517	0.0003080															
19	110.55171	-7.7886467	0.0018321															
20	110.57623	-7.788025	0.0010106															
21	110.59735	-7.7928383	0.0002853															
22	110.61124	-7.788625	0.0007223															

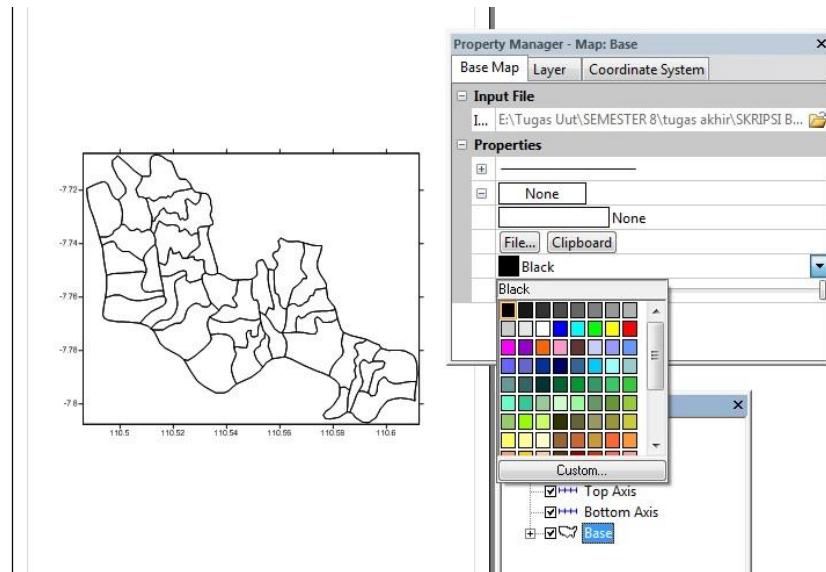
Gambar L14. Proses mengisi data pada *software Surfer 12*

2. Klik *icon New Plot*. Pilih Grid pada *toolbar*. Kemudian pilih data yang sudah disimpan dengan format *text data* (txt). Setelah itu jendela Grid Data akan muncul.



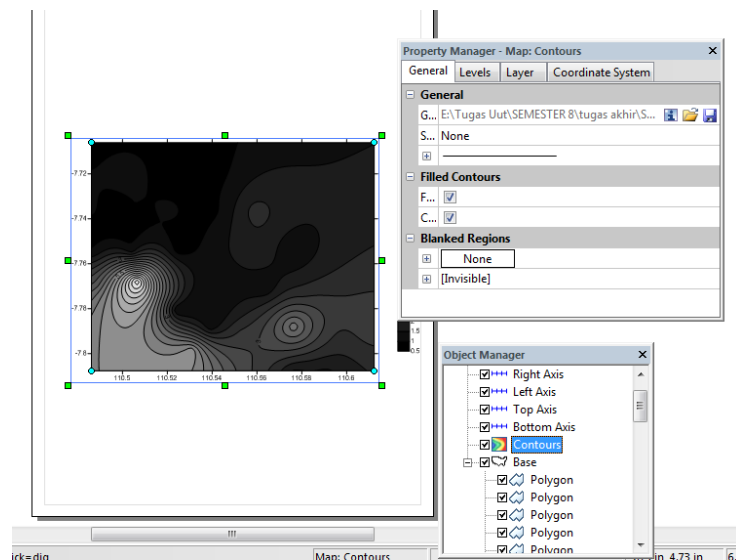
Gambar L15. Proses pembuatan *Grid Data* pada *software Surfer 12*

3. Pilih *Inverse Distance to a Power* pada *Gridding Method*, kemudian pada *Grid Line Geometry* masukkan nilai koordinat minimum dan maksimum peta yang digunakan. Klik oke. Setelah itu akan diperoleh file dalam format GRD. Simpan file dengan klik *Save Grid Data Report*.
4. Klik icon *New Base Map* pada *toolbar*. Pilih peta yang akan digunakan (format.shp). Klik *Property Manager Map-Base*. Kemudian pilih warna *White* pada *Properties*.



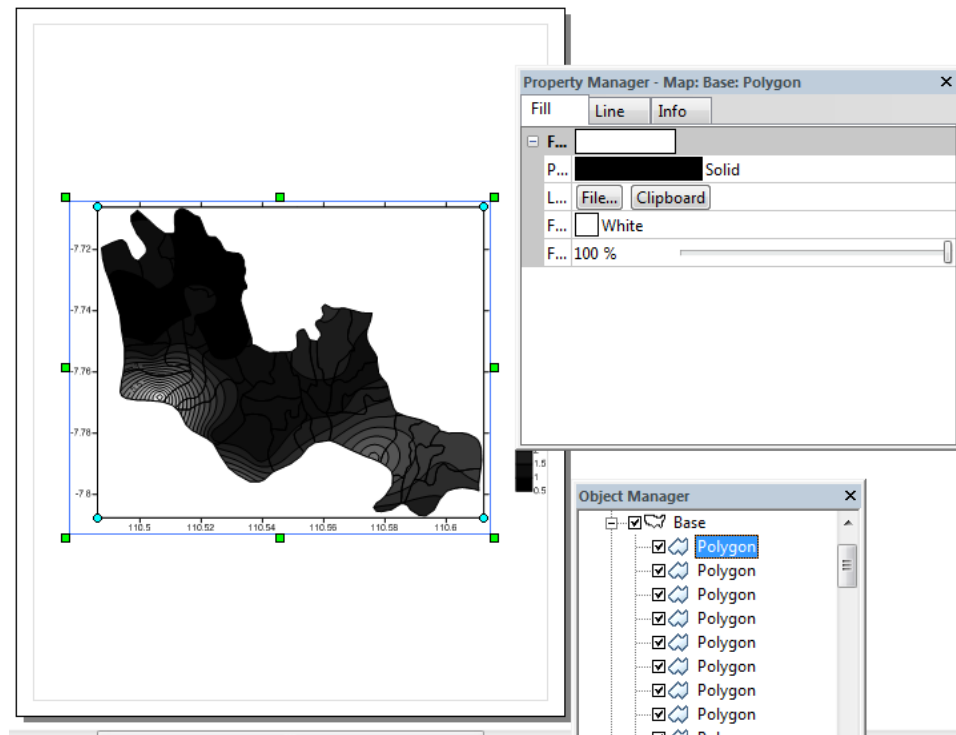
Gambar L16. Tampilan peta dalam format shp

5. Klik *icon Contour Map* pada *toolbar*. Pilih data GRD yang sudah disimpan pada tahap 3. Kemudian klik *Open*, maka akan muncul hasil mikrozonasi. Klik CTRL+A, kemudian klik map dan pilih *overlay*.



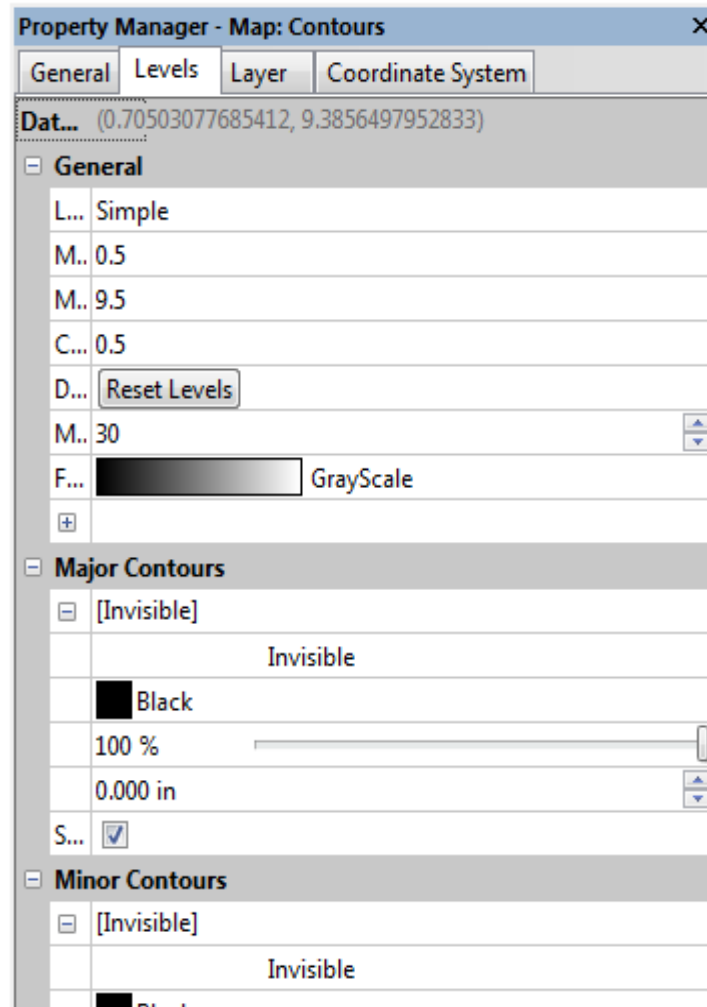
Gambar L17. Proses pemasukan mikrozonasi

6. Klik *Object Manager*. Kemudian klik kanan pada *Base*. Pilih *Order Object* dan klik *Move to Front* sehingga bentuk mikrozonasi akan sesuai dengan peta (shp) yang digunakan.



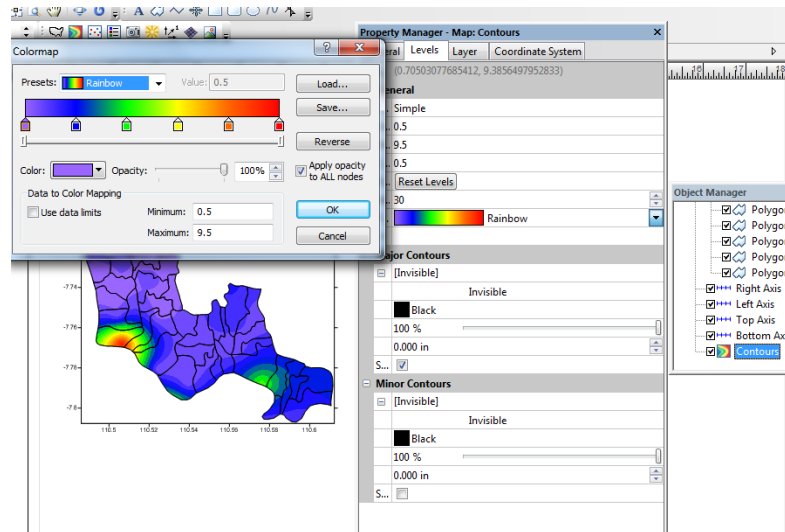
Gambar L18. Tampilan mikrozonasi dioverlay peta dengan format shp

7. Klik *Contour* pada *Object Manager*, maka akan muncul jendela *Property Manager*. Kemudian pilih kolom *Levels*. Masukkan nilai 30 pada *M* dan atur *Invisible* pada *Major Contours* dan *minor Contours* untuk menghilangkan garis pada mikrozonasi.



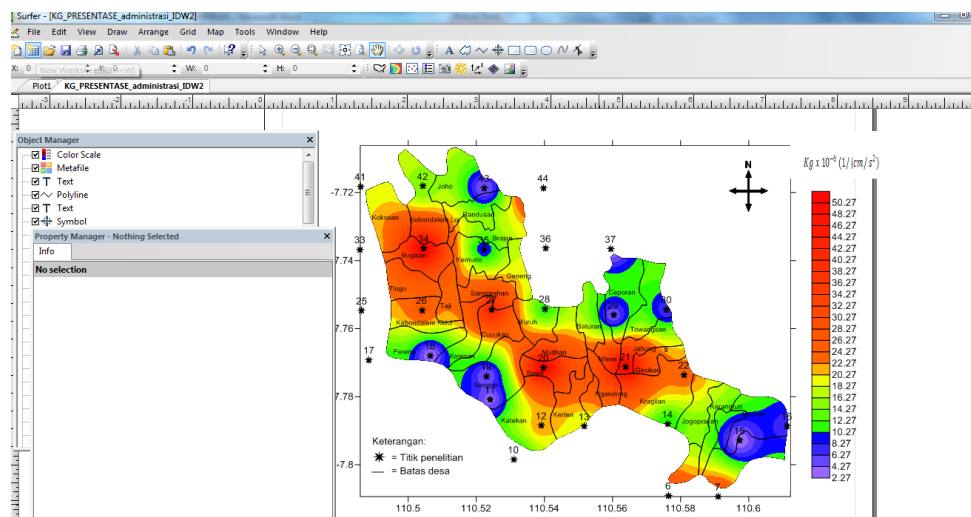
Gambar L19. Proses menghilangkan garis pembatas pada *contour* mikrozonasi

8. Untuk *colors* pilih *rainbow*. Kemudian pada *custom*, atur nilai minimum dan maksimum sesuai data yang dibuat mikrozonasi.



Gambar L20. Proses mengatur warna dan skala mikrozonasi

9. Kemudian pada *General*, klik *Show color scale* untuk menampilkan skala mikrozonasi. Kemudian klik *Interpolate pixels*.
10. Kemudian *overlay* peta mikrozonasi dengan peta kerusakan dan peta geologi dalam format shp dengan Klik *icon New Base Map* pada *toolbar*. Pilih peta lain yang akan digunakan.
11. Klik CTRL+A, kemudian klik map dan pilih *overlay*.



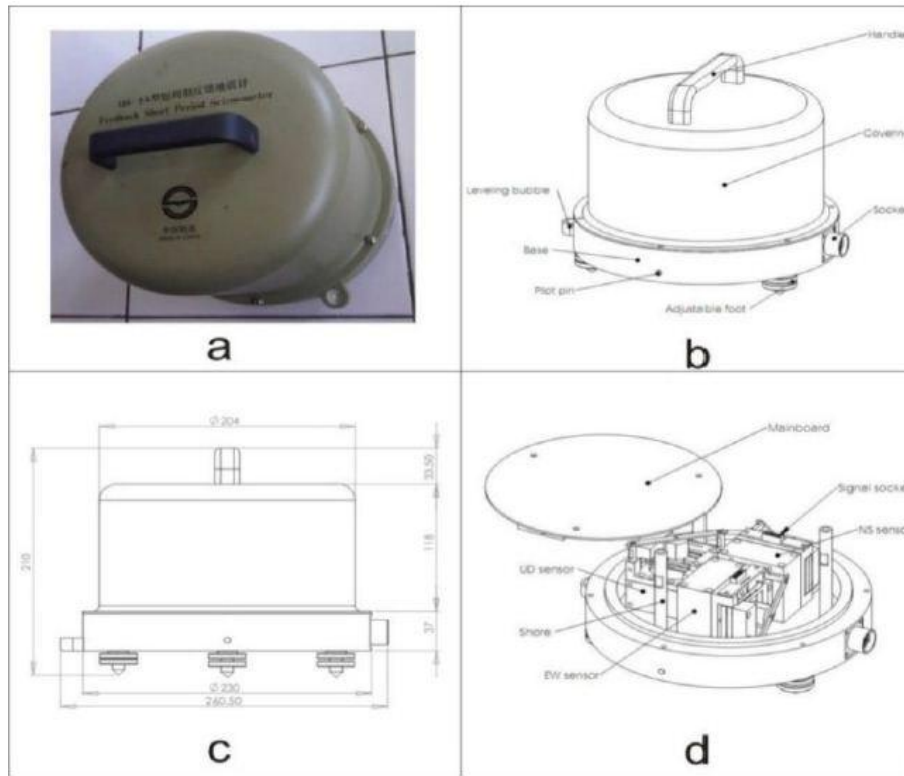
Gambar L21. Tampilan mikrozonasi indeks kerentanan seismik

B. Mikrozonasi Frekuensi Predominan dan Faktor Amplifikasi

Langkah dalam membuat mikrozonasi frekuensi dominan dan faktor amplifikasi sama seperti cara pembuatan mikrozonasi indeks kerentanan seismik. Tahap yang membedakan yaitu mengganti nilai indeks kerentanan seismik pada tahap 1 dengan frekuensi dominan maupun faktor amplifikasi.

LAMPIRAN 6

Digital Portable Seismograph TDL- 303 S



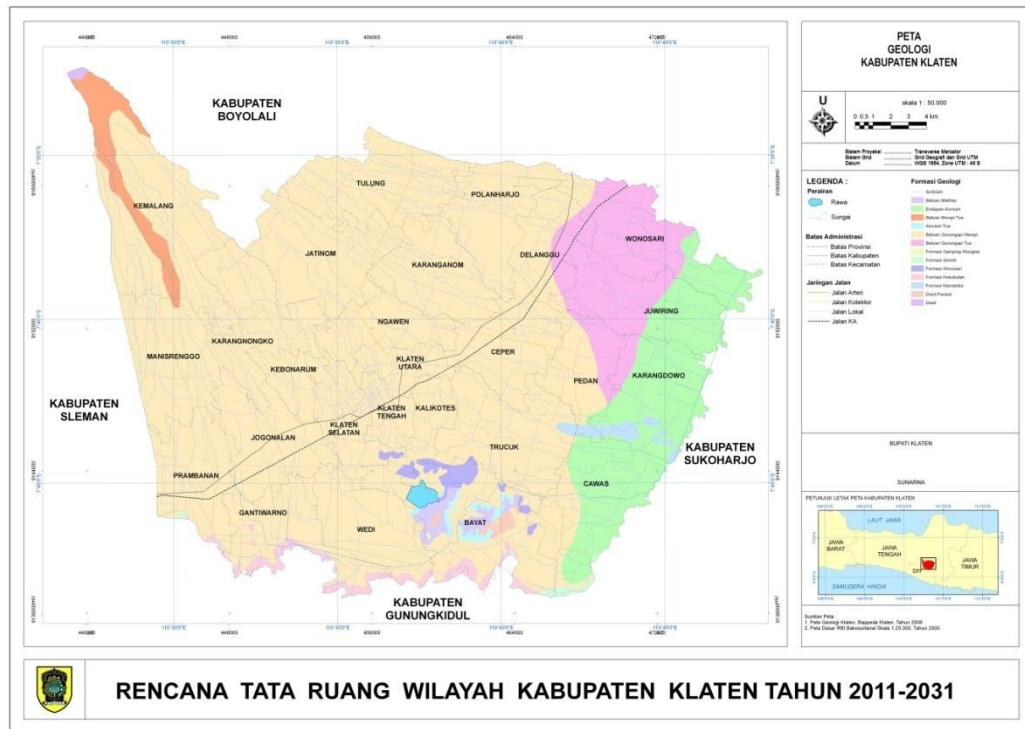
Gambar L22. (a) Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S; (b) Konstruksi seismometer tipe TDV 23-S; (c) Dimensi tipe TDV-23S; (d) Struktur bagian dalam seismometer tipe TDV-23S (TAIDE, 2010).



Gambar L23. *Digital Portable Seismograph TDL- 303 S*

LAMPIRAN 7

PETA GEOLOGI KABUPATEN KLATEN



Gambar L24. Peta geologi Kabupaten Klaten

LAMPIRAN 8

DATA KERUSAKAN DAN KORBAN JIWA PASCA GEMPABUMI 27 MEI 2006 DI KABUPATEN KLATEN

Kecamatan	Luas Wilayah (km ²)	Jumlah Penduduk	Korban Jiwa		Bangunan Roboh dan Rusak Berat
			Meninggal dunia	Luka-luka	
WEDI	24.38	63109	335	2799	11631
GANTIWARNO	25.64	40743	331	9136	9907
PRAMBANAN	24.43	46161	196	1655	9086
JOGONALAN	26.7	57607	35	482	7493
BAYAT	39.43	63754	35	1214	5739
CAWAS	34.47	64600	35	1035	7886
TRUCUK	33.81	81949	27	392	9427
KARANGDOWO	29.23	51774	10	290	4026
CEPER	24.45	63679	11	128	4164
KALIKOTES	12.98	36772	9	187	2641
KEBONARUM	9.67	21574	6	97	1725
KLATEN SELATAN	14.43	40806	6	27	2256
PEDAN	19.17	47838	4	157	4824
MANISRENGGONO	26.96	41524	8	2	1047
KARANGNONGKO	26.74	38159	3	36	1325
KARANGANOM	24.06	49088	3	14	799
JUWIRING	29.79	61087	3	374	4802
KLATEN TENGAH	8.92	43666	1	21	720
KLATEN UTARA	10.38	42224		3	423
WONOSARI	31.14	62265		26	1191
DELANGGU	18.78	45746		19	556
JATINOM	35.53	58680	2	0	97
POLANHARJO	23.84	45617		0	859
KEMALANG	51.66	34965	2	7	108
TULUNG	32	54856		8	18
NGAWEN	16.97	43937	2	18	231

LAMPIRAN 9
DOKUMENTASI PENGAMBILAN DATA



A



B



C



D



E



F

LAMPIRAN 10
DATA *SHEET SESAME*